



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

생활과학석사 학위논문

건조 조건에 따른 의류소재의 변형  
연구 및 최적 건조 조건 제안

2017년 8월

서울대학교 대학원

의류학과

김 기 림

## 국 문 초 록

본 연구는 다양한 의류소재에 대해 건조 조건에 따른 변형을 측정하여 섬유 별로 건조 과정에서 변형을 초래하는 영향요인을 분석하고 건조 조건 별 효율적 건조 조건을 제안하고자 하였다. 이를 위하여, 섬유의 특성과 조직이 다른 면, 양모, 라이오셀, 나일론/스판덱스, 폴리에스터를 시료로 선정하고 온도, 습도, 건조 방식이 다른 네 가지 건조 조건을 설정하였다. 건조 조건에 따라 구김, 길이 변화율, 면적 변화율 및 건조 효과를 살펴보았으며, 최종적으로는 건조 조건 별로 최종 건조 효과와 변형을 유지하면서 시간과 에너지가 절약되는 최적 건조 조건을 제안하였다.

의류소재의 건조 후 변형은 조직 별로는 실의 자유도가 적은 직물이 편물보다 구김이 심했지만 수축은 적게 발생했다. 섬유의 화학적 성질 별로는 친수성 소재의 건조 후 구김과 수축은 건조 중 평균 온도에 영향을 받지 않았고, 건조 중 평균 습도가 낮을수록 구김이 심화되며 수축은 영향력이 미미하였다. 소수성 소재는 건조 중 평균 온도가 높을수록 수축이 심화되었고 구김에는 영향을 미치지 않았다. 또한 건조 중 평균 습도가 소수성 소재의 구김과 수축에 미치는 영향은 미미하였다. 기계력의 영향을 보면, 기계력이 가해지는 Heater, Heatpump(t) 조건에서 수축은 컸지만 텀블링에 의하여 세탁에 의한 구김이 일부 펼쳐졌으며, 기계력이 없는 Heatpump(h), Line Dry 조건에서는 시료의 수축은 적었지만 구김이 심화되는 경향을 나타내었다. 특히, 양모 시료에서 기계력의 영향이 크게 나타났으며 이는 양모가 기계력에 의해 축융 수축하였기 때문으로 사료된다.

반복 건조 후 의류소재는 전반적으로 최초 건조 시 보다 형태 및 치수 안정성을 나타내어 최초 건조 시 변형을 최소화할 수 있는 건조 조건을 선택하는 것이 필요함을 알 수 있었다. 예외적으로, 양모는 지속적인 세탁과 건조에 의해 축융 수축하여 구김과 수축이 심화되어 의류 관리 시 각별한 주의가 필요함을 시사한다.

본 연구에서는 모든 건조 조건에서 건조 중 표준수분을 이하에 도달한 뒤 길이변화율에 변화가 미미한 구간을 발견하였다. 이에 이 구간을 과잉건조되는 구간으로 판단하고, 건조 조건 별 적정 건조 시간을 세탁부하직물 1kg을 기준 Heater 조건 30분, Heatpump(t) 조건 50분, Heatpump(h) 조건 30분으로 설정하였다.

주요어 : 의류건조기, 건조 조건, 의류소재의 변형, 구김, 수축, 효율적 건조  
학 번 : 2015-23096

# 목 차

I. 서	론	.....	1
1.	연구의 필요성 및 목적	.....	1
2.	이론적 배경	.....	4
2.1.	섬유의 수분 흡수와 건조	.....	4
2.2.	의류소재의 물리적 변형	.....	7
II. 실	험	.....	12
1.	시료	.....	12
2.	세탁	.....	14
3.	건조	.....	15
3.1.	건조 조건	.....	15
3.2.	건조 방법	.....	18
3.3.	건조기 내 온·습도 환경	.....	20
4.	건조효과 및 변형 평가	.....	21
4.1.	길이 및 면적 변화율	.....	21
4.2.	구김 평가	.....	23
4.3.	수분율	.....	25

III. 결과 및 고찰.....	26
1. 건조 조건에 따른 의류소재의 형태 변형.....	26
1.1. 건조 조건 별 건조 중 온 · 습도 환경.....	26
1.2. 구김 특성.....	29
1.3. 수축 특성.....	32
2. 건조 조건이 의류소재 변형에 미치는 영향.....	42
2.1. 온 · 습도의 영향.....	43
2.2. 기계력의 영향.....	48
2.3. 반복 건조의 영향.....	51
3. 효율적 건조 조건.....	57
3.1. 수분을 감소에 따른 수축 특성.....	58
3.2. 효율적 건조 조건의 제안.....	65
IV. 요약 및 결론.....	68
V. 참고 문헌.....	72
Abstract.....	76

## List of tables

Table 1. Specification of the samples.....	13
Table 2. Specification of the drying conditions.....	16
Table 3. AATCC 3-D Smoothness Appearance (SA) grade.....	24
Table 4. Average temperature of Heater, Heatpump(t), and Heatpump(h) conditions.....	44
Table 5. Average RH of Heater, Heatpump(t), and Heatpump(h) conditions.....	47
Table 6. Optimum drying time and ended time of samples a drying conditions.....	64
Table 7. Optimum drying time of Heater, Heatpump(t), and Heatpump(h) dryer while drying dummy load 1kg .....	64
Table 8. Moisture Content of samples at optimum time and ending time.....	66

## List of figures

Figure 1. $\alpha$ –water and $\beta$ –water of fiber.....	5
Figure 2. Change in MC(%) during drying at high temperature.....	6
Figure 3. Principle of wrinkling.....	9
Figure 4. Photos of Heater dryer, Heatpump(t) dryer, and Heatpump(h) dryer.....	17
Figure 5. Photo of temperature/humidity data logger.....	20
Figure 6. Change measurement before and after washing and drying.....	22
Figure 7. AATCC 3–D smoothness appearance replicas. ....	24
Figure 8. Change in temperature and relative humidity in Heater type dryer, Heatpump(t) type dryer, and Heatpump(h) type dryer.....	28
Figure 9. Smoothness appearance grade after initial drying process.....	31
Figure 10. Percentage length dimensional change after initial drying process.....	34
Figure 11. Percentage width dimensional change after initial drying process.....	36
Figure 12. Percentage area dimensional change after initial drying process.....	39



Figure 13. Gap Percentage between length and width dimensional change after initial drying process.....	41
Figure 14. Smoothness appearance grade and Area dimensional change of samples according to average temperature.....	44
Figure 15. Smoothness appearance grade and Area dimensional change of samples according to average RH.....	47
Figure 16. Separation of Heat and Agitation by Drying Conditions.....	50
Figure 17. Change in Smoothness appearance grade by Repeated Drying.....	53
Figure 18. . Change in Area dimensional change by Repeated Drying. ....	56
Figure 19. Moisture content vs Area dimensional change of Ck.....	61
Figure 20. Moisture content vs Area dimensional change of Wk.....	61
Figure 21. Moisture content vs Area dimensional change of Lk.....	62
Figure 22. Moisture content vs Area dimensional change of NSw.....	62
Figure 23. Moisture content vs Area dimensional change of NSk.....	63

Figure 24. Moisture content vs Area dimensional change of Pk.....	63
Figure 25. Shrinkage and energy consumption at optimum time and ending time. ....	67

# I. 서 론

## 1. 연구의 필요성 및 목적

최근 우리나라는 기후 변화와 더불어 여성의 사회 진출, 바빠진 현대 생활, 주거 양식과 라이프 스타일 변화 등에 의하여 간편한 가사 생활을 추구하게 되었다. 이에 우리나라에서도 의류건조기에 대한 관심과 수요가 급격히 증가하고 있는 추세이다.[1,2,3] 기존 의류의 건조 방법은 세탁물을 널어 말리는 방식으로 이는 기온, 습도, 바람의 영향을 받으며 습도가 높을 때에는 균의 번식을 야기한다. 또한 세탁에 의하여 발생하는 구김이 퍼지기 어려워 의류 관리 행정 중 다림질이 필수적이라는 단점이 존재한다.[3] 이에 반해 의류건조기를 이용한 건조는 세탁물에 열과 기계력을 공급하여 세탁물을 단시간에 효율적으로 건조하며 세탁에 의해 생기는 구김을 제거하여 준다. 그러나 의류건조기를 이용한 건조는 옷감에 물리적인 변형을 일으켜 결과적으로 옷의 수명 단축을 초래하며 전력의 소비 또한 많다는 단점이 존재한다.[4] 의류건조기는 에너지 공급 방식, 가열 방법, 내부 온도와 습도, 건조 방법 등에 따라 건조기 별로 건조 과정에서 열, 수분, 기계력의 전달 방식이 상이하다.

기존 의류소재의 건조 관련 선행연구들을 살펴보면 건조 방법, 건조기의 온도, 건조 시간 등을 달리하여 다양한 건조 조건에서 수축, 뒤틀림, 구김, 중량, 표면 관찰 등 소재의 변형이 중점적으로 연구되었다.[1,2,5,6,7] 또한 의류건조기에 관한 연구들로는 의류건조기의 효율적인 건조 방법에

대한 연구, 옷감에 변형을 주는 의류건조기의 요인 분석 등이 존재하였다.[3,8,9] 그러나 라이오셀, 스판덱스 혼방 소재 등 다양한 의류소재가 개발된 최근의 경향에도 불구하고, 대부분의 연구들이 면 니트에 제한된 시료로 실험을 진행하여 실생활에 사용되는 다양한 의류소재에 대한 연구가 전무한 실정이다. S.C.Anand[9]의 연구에서는 실험 설계 상 건조기 내 열과 기계력을 완전히 분리하지 못하고 한정적인 건조 조건을 사용하여 변형에 대한 지배적인 영향요인을 명확히 밝히지는 못하였다. 또한 대부분의 연구가 분석 결과를 토대로 건조 후 변형을 최소화할 수 있는 건조 방법에 대한 연구로 나아가지 못하였다는 한계점이 존재하였다.

따라서 본 연구에서는 다양한 의류소재에 대하여 섬유 종류에 따른 건조 조건 별 형태 변화를 분석하고 건조과정에서의 영향요인을 규명하여, 최종적으로 효율적 건조 조건을 제안하는 것을 목표로 하였다.

본 연구의 내용은 세 단계로 나뉘며, 첫 번째 단계에서는 섬유의 특성 별로 친수성 섬유와 소수성 섬유 두 그룹으로 시료를 선정하여 온·습도 환경과 건조 형태가 다른 네 가지 건조 조건에 대하여 형태 변형을 나타내는 외관평활성 등급과 치수 변형을 나타내는 길이 및 면적 변화율, 길이방향 변화율과 너비방향 변화율의 차이를 측정하였다. 두 번째 단계에서는 앞서 측정한 의류소재의 건조 후 변형에 지배적으로 영향을 미치는 요인을 분석 하였다. 구체적으로는 건조 과정 중 열, 수분, 기계력의 영향력을 파악하여 소재 별 변형에 지배적인 원인을 규명하고, 반복 건조가 변형에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 최종적으로 마지막 단계에서는 시간에 따른 소재의 수분율을 측정하여 각 의류소재 별 건조 메커니즘을 분석하고, 이를 바탕으로 건조 효과와 형태 변형을

최소화하면서 시간과 에너지를 절약할 수 있는 효율적 건조 조건을  
도출하고자 하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 섬유의 수분 흡수와 건조

섬유는 물과 같은 액체 물질을 흡수하면 부피가 팽창하게 된다. 이 과정을 팽윤(Swelling)이라고 하며, 물 분자가 비결정 영역에 침투하여 분자쇄 간의 수소결합을 끊고 물 분자와 분자쇄가 결합하고 분자쇄 간 결합력이 약화되는 과정에 의하여 섬유의 팽윤이 발생한다.[10]

위와 같이 젖은 섬유는 수분 평형 과정에 의해 수분이 탈착된다. 젖은 섬유를 탈수 시키면 섬유와 결합한 물 분자들이 탈착되어 수분율이 점차 감소하고 일정 수분율 이하가 되면 수분의 양이 더 이상 변하지 않는 수분 평형의 상태에 도달한다.[11] 수분의 탈착 과정을 구체적으로 살펴보면, 수분을 머금은 섬유는 Figure 1 와 같이 섬유와 직접적으로 결합되어있는  $\alpha$ -water 와 간접적으로 결합되어있는  $\beta$ -water 를 모두 가지게 된다.[11,12] 섬유는 주변의 온도와 습도 환경에 따라 건조가 진행되는데, 건조 초기에는 섬유에 비교적 불안정하게 결합된  $\beta$ -water 가 증발하며 급격히 수분율이 감소하게 된다. 일정 수분율에 도달하게 되면 섬유 표면에 주로  $\alpha$ -water 만이 남은 상태가 되고 이 때 섬유와 물 분자 간의 결합력이 크기 때문에 쉽게 증발되지 않고 수분율의 감소 속도가 감소하게 된다.[11]

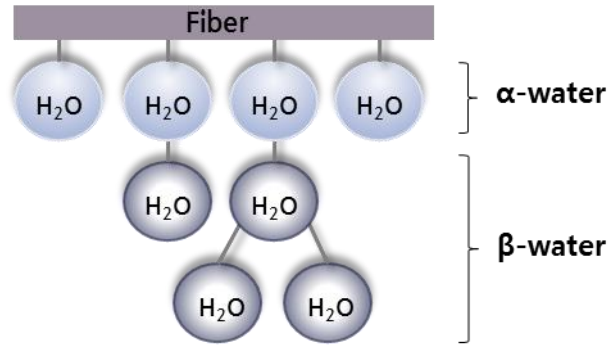


Figure 1.  $\alpha$ -water and  $\beta$ -water of fiber.[12]

섬유의 수분 흡수와 탈착에 영향을 미치는 요인에는 온도, 시료의 크기와 형태, 부피 밀도, 대기 순환 여부, 섬유의 특성 등이 있다. 일반적으로 주변 온도가 높을수록 열 전달 속도가 증가하고 분자 운동이 활발해져 건조 시간이 감소한다. 그리고 공기의 순환이 존재하면 열 손실 속도가 증가하여 건조 시간이 감소한다.[11] 또한 크게 영향을 미치는 요인으로 섬유 고유의 특성이 있다. 섬유 내 함유한 친수기, 섬유 내부의 비결정영역의 정도에 따라 섬유의 수분율이 결정되며, 섬유가 함유할 수 있는 수분의 양에 따라서 건조 시간이 달라지며 건조 메커니즘에 차이를 나타낸다. 일반적으로 면의 표준수분율은 7%, 양모는 16%, 견은 9~11%, 비스코스 레이온은 12~14%이다.[13] 합성섬유의 경우, 나일론의 표준수분율은 약 3.5~5% 이고 폴리에스테르와 스판덱스의 표준수분율은 1% 미만으로 세탁 후 머금은 물의 양이 친수성 소재에 비해 현저히 적다.[13]

섬유의 건조 메커니즘에 관한 선행연구를 살펴보면, Higgins [5]의 연구에서는 면 직물과 면 편성물의 텀블 건조 조건에 따른 수분율의

변화를 측정하여 건조가 진행되는 메커니즘을 분석하였다. 그의 연구를 통해 Figure 2 와 같이 건조 시간이 증가할수록 섬유 수분율이 감소함을 알 수 있다. 건조 시간이 5-30 분 사이일 때 수분율의 감소 속도가 빠르며 이는 초반 실과 실 사이 혹은 섬유와 섬유 사이에 존재하는 bulk water 와 free water, 즉  $\beta$ -water 가 쉽게 증발하기 때문이라고 설명하고 있다. 반면 건조 시간이 길어질수록 수분율의 감소 속도가 느려지는데, 이는 섬유 표면과 내부에 흡착된  $\alpha$ -water 간 결합력이 강하여 쉽게 탈수되지 못하기 때문이라고 하였다.

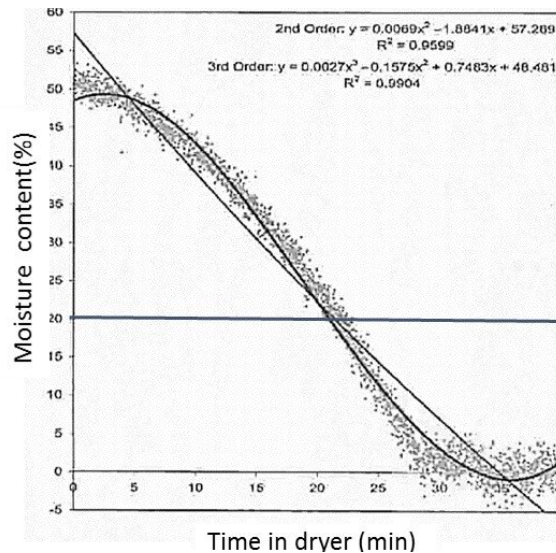


Figure 2. Change in MC(%) during drying at high temperature.[5]



## 2.2. 의류소재의 물리적 변형

의류소재는 섬유의 종류, 실의 직물과 구조, 가공 방법 등에 따라 관리의 편의성이 달라진다.[14] 특히 의류소재는 의복의 형태가 되어 사용될 때 치수 혹은 표면의 형태가 변하게 된다. 의류소재의 치수 변형의 종류에는 신장과 수축이 있으며 주로 일어나는 변형은 수축이다.

일반적인 섬유의 수축 과정을 살펴보면 세탁 후 팽윤된 섬유가 건조되는 과정에서 수축이 발생한다. 구체적으로 건조 과정 초기에는 섬유 표면과 직접적으로 결합되지 않은 물 분자들이 증발하고, 섬유에 가해졌던 장력이 제거되는 이완성 수축이 발생한다.[14] 직물을 짜는 제직 과정 중 실이 장력을 받게 되고, 팽팽하게 당겨져 있던 실이 사용하는 도중 이완되어 원상태의 길이로 급격히 줄어드는 것이 이완성 수축으로 정의된다. 이완성 수축은 주로 첫 세탁과 건조 과정에서 가장 심하게 나타나며, 특히 경사방향으로의 수축이 크게 나타난다.[14,15] 이후 건조가 진행되면서  $\beta$ -water가 충분히 증발하여 섬유의 수분율이 낮아지면  $\alpha$ -water까지도 증발되면서 팽윤되었던 섬유가 deswelling 되어 발생하는 팽윤성 수축이 일어난다. 팽윤성 수축은 물리적 과정 중 건조 과정의 결과로 직물을 건조시키는 과정에서 발생하며, 밀도가 낮은 직물 혹은 수분에 민감한 친수성 소재에서 크게 발생하는 경향을 보인다. 또한 건조 중 온 · 습도 환경이 섬유의 수분율과 섬유의 수축률에도 영향을 미친다. 이 외에도 섬유의 특성에 따라 스케일층을 가지는 양모는 축융성 수축을 하며, 열가소성을 가진 소수성 섬유들은 열에 의하여 분자의 부분적인 움직임이 활발해져 섬유 고분자의 물리적 성질이 변하는 열 수축이 진행된다.[14,15]

위와 같이 주로 섬유에 일어나는 형태 변화는 주로 수축 현상이 대부분이지만, 세탁 및 건조 과정이나 사용 과정에서 의복의 길이가 늘어나는 신장 또한 물리적 변형에 해당된다. 섬유는 섬유에 가해지는 외력이 제거되었을 때 원래의 길이로 돌아가려고 하는 탄성 신장이 일어나지만 그 힘이 커질수록 영구적인 변형이 발생한다. 이러한 신장 현상은 섬유의 탄성회복률, 탄성계수, 실의 굵기, 꼬임, 실의 밀고, 두께 등에 따라 달라지며, 실의 자유도가 높은 편성물이 직물에 비해 이러한 변형이 훨씬 쉽게 일어난다고 알려져 있다.[11,14,16,17]

세탁과 건조 후 가시적으로 쉽게 관찰될 수 있는 의류소재의 변형에는 구김이 있다. 의복에 생기는 구김은 섬유의 방추성과 관련이 있는데, 이는 피륙에 구김이 생기는 정도를 의미하여 의복을 세탁하거나 착용하는 과정에서 외부의 힘에 의해 생기게 된다. 방추성은 실의 구조, 직물의 조직, 섬유의 레질리언스와 탄성 등에 영향을 받으며 이러한 섬유의 특성에 따라 구김이 발생하는 메커니즘에 차이가 존재한다.[13,14] 면, 레이온과 같은 친수성 섬유는 Figure 3 와 같이 섬유의 굴곡이나 압축으로 섬유 내 수소결합이 절단되면서 분자와 분자가 미끄러지고 그 상태에서 새로운 수소결합이 형성됨으로써 구김이 발생한다. 이에 반해 합성 섬유의 경우, 유리전이온도( $T_g$ ) 부근의 온도 환경에서 섬유가 굴곡되거나 압축 변형을 받은 후 환경 온도가 내려갔을 때 섬유에 가해진 변형 형태가 반영구적으로 남게 된다.[13]

이렇듯 섬유가 구김이 지고 수축하는 과정에서 섬유의 특성, 분자 구조, 조직의 종류, 주변 온도와 습도 등에 영향을 받으며 이에 따라 상이한 메커니즘을 갖는다. 그러므로 의류소재의 건조 후 변형을 연구하고자 할 때 위 요소들이 고려되어야 함을 알 수 있다.

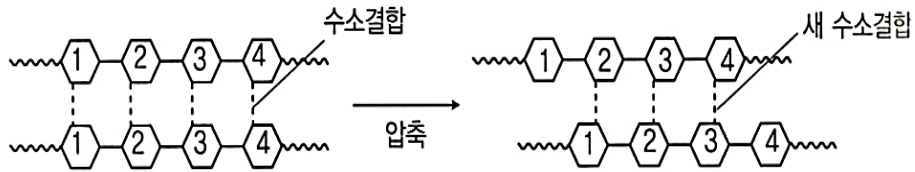


Figure 3. Principle of wrinkling. [13]

앞선 설명과 같이 일반적으로 의류소재의 물리적 변형이 발생하는 원인은 착용과정에서 발생하는 것보다는 열과 기계력 등 외력이 가해지는 세탁과 건조 과정에서 발생하는 물리적 변형이 의복을 관리하는 데 있어 보다 큰 문제점으로 여겨져 왔다. 이에 지금까지 의류소재의 건조 과정에서 발생하는 물리적 변형에 대하여 꾸준히 연구가 진행되어오고 있다. 선행연구들의 경우 건조 방법, 건조 온도, 건조 시간 등을 달리하여 다양한 조건에서 수축, 뒤틀림(Skewness), 심 퍼커링(Seam puckering), 구김, 중량, 표면 특성, 직물의 태 등 소재의 변형을 측정하고 분석하고자 하였다.[1,2,5,6,7,15,17,18,19] 또한 보다 구체적으로 건조 조건을 의류건조기로 한정하여 의류건조기의 효율적인 건조 방법을 찾고, 옷감에 변형을 주는 의류건조기의 원인 요인을 분석한 연구들도 존재하였다. [1,2,3,8,9]

이송자, 서정현[1,2]은 반복 세탁 및 건조 방법에 따라서 시판되고 있는 드레스셔츠의 물성의 변화를 관찰하고자 소재의 물리적, 역학적 특성과 소재의 구조적 변화를 분석하고 의류건조기 건조와 자연광 건조의 여러 특성 비교를 통해 의류건조기 사용시 소재의 구조적 특성 및 역학적 특성의 변화를 밝히었다. Mikučionienė[6]은 건조 온도와 기계력 등을

달리한 건조 조건에 대하여 세탁과 건조 과정 후 수축률을 비교해 보았을 때, 열풍이 수축을 심화시키며 마찰 혹은 물리적 작용보다도 열이 수축에 큰 영향을 미친다고 밝히었다. L.Higgins[5,19]는 건조기 내 설정한 온도에 따라 수분율과 수축 및 구김 특성을 분석하였고, 결론적으로 면 직물과 편성물에 대하여 건조기 내 온도가 직물의 수축에 영향을 주지 않으며 낮은 온도에서 장시간 가해지는 기계적 교반이 수축을 증가시킨다고 설명하였다. 또한 구김은 낮은 온도에서 더 심하게 발생했으며 이 또한 기계적 교반에 장시간 노출되기 때문으로 해석하였다. S.C.Anand[9]는 면 편성물의 세탁과 건조 과정에서 야기되는 형태 변화와 그 원인에 대하여 분석하였고, 세탁 전 과정에서 소재의 수축에 가장 영향을 미치는 요인은 건조기 내 교반이었으며 건조기 내 열이 의류소재의 수축에 영향을 미친다는 연구에 반하는 결과를 도출하였다. L.Higgins[7]의 연구에서는 면 편성물의 텀블 건조에 의한 길이와 너비 방향 수축률, 뒤틀림(Skewness), Spirality 를 분석하여, 건조 과정 내 수분율 20% 이하에서는 열의 유무에 관계없이 길이와 너비방향으로 수축과 뒤틀림이 진행되었고 이를 통해 면 니트의 텀블 건조 과정에서 형태 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 요인이 텀블링 과정임을 밝히었다. 이렇듯 의류소재의 세탁과 건조 후 발생하는 소재의 변형에 지배적인 영향을 미치는 요인이 명확히 밝혀지지 않아 소재의 건조와 수축의 메커니즘에 대하여 명확하게 밝힐 필요성이 있다고 판단하였다.

Y.L.Buission[8]은 면 직물을 반복적으로 텀블 건조한 이후 절단 강도, 신도, 중량, 섬유의 표면 등 마찰에 의하여 시료에 손상이 가속화 되었음을 밝히고, 소재의 마찰에 의한 손상을 줄이기 위하여 가온 속도를 높이고 세탁부하직물을 추가하라고 제안하였다. 또한 4.3%의 수분율에

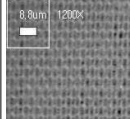
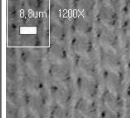
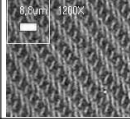
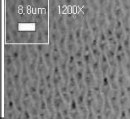
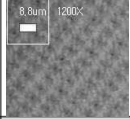
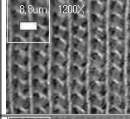
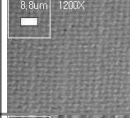
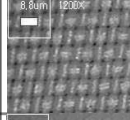
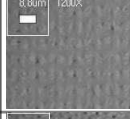
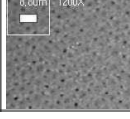
이를 때까지만 열 에너지를 가함으로써 시료가 과잉건조되어 손상되는 것을 방지하여야 한다고 주장하였다. 이와 같이 의류소재의 물리적 변형을 최소화하기 위하여 건조 과정 가해지는 열, 기계력 등의 에너지를 조절하는 것이 필요함을 알 수 있다.

## II. 실험

### 1. 시료

본 연구에서는 섬유의 특성 별로 건조 후 변형의 거동에 영향을 미치는 요인을 고려하기 위한 10 종의 시료를 사용하였다. 본 연구의 시료는 섬유의 화학적 특성에 따라 친수성 섬유와 소수성 섬유로 구분하여 실험을 진행하였으며, 이를 구분하는 기준은 표준수분율을 기준으로 시료를 선택하였다. 친수성 섬유로 선택된 시료는 면, 양모, 라이오셀이었고, 소수성 섬유로 선택된 시료는 나일론/스판텍스 혼방, 폴리에스터 5 종류로 나뉘었다. 또한 각 섬유의 종류 별로 조직에 따라 직물과 편물 2 종류를 선정하였다. 시료의 코드명은 대문자는 섬유의 종류(C, W, L, NS, P), 소문자는 조직의 종류(w, k)를 나타내었으며 자세한 사양은 Table 1 에 나타내었다.

Table 1. Specification of the samples

Fiber category	Code	Fiber type	Weight (g/m <sup>2</sup> )	Construction	
Hydrophilic	Cw	100% Cotton	120	Broad cloth	
	Ck	100% Cotton	140	Interlock	
	Ww	100% Wool	187	Gabardine	
	Wk	100% Wool	177	Jersey	
	Lw	100% Tencel	179	1/3 Twill	
	Lk	100% Tencel	131.6	Single jersey	
Hydrophobic	NSw	Nylon 85% Spandex 15%	154	Plain	
	NSk	Nylon 84% Spandex 16%	390	–	
	Pw	100% PET	168	Oxford	
	Pk	100% PET	106	Interlock	

## 2. 세탁

실험에 사용한 세탁기는 상업용 12kg 용량의 드럼식 세탁기(FH21VB1, LG electronics)이다. 세탁 코스는 표준코스로 진행하였으며 이는 세탁(표준), 헹굼(2 회), 탈수(강)의 과정으로 구성되었다. 본 연구는 세탁 과정에 의한 형태 및 치수 변형을 최소화하고자 하였다. 이에 세탁 용수는 실험실에 공급되는 온도 15℃의 수돗물로 세탁을 진행하였으며, 세제를 첨가하지 않았다.

실험에 사용된 세탁부하직물(Dummy Load)의 수분 흡수 성질은 세탁물이 세탁과 건조 과정에서 물을 흡수하고 건조 하는 과정에서 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 친수성 시료인 면, 양모, 라리오셀 시료는 100% 면 직물 보조포를, 소수성 시료인 나일론/스판덱스, 폴리에스터 시료는 100% 폴리에스터 직물 보조포를 사용하여 시험편과 세탁부하직물의 수분 흡수 성질을 유사하게 유지하고자 하였다. 또한 세탁부하직물은 1kg 으로 고정하여 실험을 진행하였다.



### 3. 건조

의류소재는 건조 과정 중 열, 수분, 기계력 등의 영향요인으로 수축, 구김과 같은 변형이 일어난다. 이에 본 연구에서는 건조 과정에서 가해지는 열, 수분, 기계력의 각 요인이 미치는 영향력을 구별하기 위해서 건조 환경의 온도와, 습도, 기계력의 유무 등이 다른 건조 조건을 설정하고자 하였다.

#### 3.1. 건조 조건

본 연구에서는 가열 방식에 따라 건조기 내 온 · 습도가 다르게 형성되고, 기계력의 작용이 다른 3 가지 종류의 건조기를 사용하였다.

Table 2 에서 알 수 있듯 첫 번째 조건은 상업용 9kg 용량의 드럼식 Heater 의류건조기((RC9D11A, LG electronics)를 사용하여 실험을 진행하였다. Heater 조건은 건조기 내 장착된 히터를 통해 높은 열을 빠르게 공급하여 건조 과정 내내 75~80℃의 온도를 유지시키고 텀블링을 통해 기계력을 공급되는 방식이었다.

두 번째는 상업용 8kg 용량의 드럼식 Heatpump 의류건조기(RC8082AV2Z, LG electronics)를 사용하여 실험을 진행하였다. Heatpump(t) 조건의 가열 방식은 냉매를 이용하여 건조기 내 공기의 온도를 높이는 방식으로 건조 종료 시까지 약 60℃ 정도로 열이 천천히 공급되며, 텀블링을 통해 기계력을 공급하는 방식이었다.

세 번째는 의류 관리기(S3WER, LG electronics)를 사용하여 실험을 진행하였다. 가열 방식은 Heatpump(t) 조건과 같은 Heatpump 방식을

사용하지만 건조기에 장착된 옷걸이에 시료를 걸어 건조시키는 방식으로, 건조 시 옷걸이가 앞뒤 방향으로만 움직이도록 설계되어 텀블링이 없이 건조되도록 설계되었다.

마지막으로 열과 기계력을 모두 배제한 Line Dry 조건을 통해 세 건조 조건과 비교 분석하고자 하였다. Line Dry 조건은 AATCC Test Method 135 에 따라 26℃ 이하의 온도에서 수직 방향으로 걸어 건조하였다. 각 건조기의 실제 사진은 Figure 4 와 같다.

Table 2. Specification of the drying conditions

Code	Heating method	Drying mode	Drying temperature
Heater	Heater	Tumbling	High (75~80℃)
Heatpump(t)*	Heatpump	Tumbling	Medium (55~60℃)
Heatpump(h)*	Heatpump	Hanging	Medium (55~60℃)
Line Dry	—	Hanging	Low (under 26℃)

\*(t) indicates tumbling, (h) indicates hanging



**Heater**



**Heatpump(t)**



**Heatpump(h)**

Figure 4. Photos of Heater dryer, Heatpump(t) dryer, and Heatpump(h) dryer.

## 3.2. 건조 방법

### 3.2.1. 일반 건조

앞서 언급한 네 가지 건조 조건에 대해 건조 후 변형을 분석하기 위하여 최초 건조를 진행한 후 변형을 측정하고, 이 과정을 5 회 사이클 반복하였다. 세탁을 마친 후 Heater, Heatpump(t)의 경우 시료와 세탁부하직물을 함께 무작위로 건조기에 넣은 뒤 표준 코스로 건조를 진행하였다. Heatpump(h) 조건의 경우 건조 공간이 한정되어 있어 세탁부하직물은 제외하고 시료 만을 행거에 길이 방향으로 걸어 표준 코스로 건조하였다. Line Dry 조건의 경우 세탁 후 시료를 건조대에 길이 방향으로 걸어 24 시간 건조를 진행하였다. 일반 건조의 경우 1 회 건조 시 3 장 시료를 넣고 3 회 반복 실험한 평균값으로 나타내었다.

### 3.2.2. 온도 제어 건조

열과 기계력의 영향요인을 분석하고자 건조기 내 온도를 제어하고 텀블링만 가하는 건조를 진행하였다. Heater 와 Heatpump(t) 조건의 경우 냉풍 시간 건조 코스를 이용하였고, Heatpump(h) 조건의 경우 송풍 건조 코스를 이용하여 일반 건조와 열은 가하지 않은 채로 같은 시간 동안 건조를 진행한 뒤 완전히 마를 때까지 26℃ 이하의 실험실에서 자연건조 시켜주었다. 온도 제어 건조의 경우 1 회 건조 시 3 장 시료를 넣어 실험한 평균값으로 나타내었다.

### 3.2.3. 시간 별 건조

건조 과정 내 수분율과 길이변화율의 변화를 분석하고자 시간 별 건조를 진행하였다. 동일 시료를 건조기에서 꺼낸 뒤 다시 넣었을 때 수분율과 길이변화율에 오차가 생길 것을 감안하여 세탁 직후부터 최종 건조 종료 시점까지 10 분 간격으로 각 시간 별로 시료를 따로 넣어 일정 시간 건조 후 수분율과 길이변화율을 측정하였다. 각 시간마다 2 장의 시료를 넣어 건조 후 측정한 평균치를 사용하였다.

### 3.2.4. 최적 시간 건조

본 연구에서는 최적 시간을 설정하고 그 시간 동안 건조를 진행하여 시료의 건조 효과, 변형, 그리고 에너지 소비량을 분석하고자 하였다. 본 실험에는 친수성 시료와 소수성 시료를 혼합하여 세탁, 건조하여 가정에서의 일반적인 세탁물을 모사하고자 하였다. 시료와 친수성 더미(4 장), 소수성 더미(8 장)을 함께 최적 시간 동안 건조 시킨 뒤 수분율과 길이변화율을 측정하였다. 또한 건조 시작에서 종료 시간 까지 소비전력량을 측정하였다. 실험을 진행할 때마다, 건조 시간 동안 소비한 전력량(Wh)을 Digital power meter(WT310, Yokogawa)을 이용하여 측정하였다. 최적 시간 건조는 1 회 3 장의 시료를 넣어 3 회 반복 실험 한 뒤 평균값으로 나타내었다.

### 3.3. 건조기 내 온·습도 환경

열이 가해지는 건조 조건에 한하여 건조 과정 동안의 온도와 습도를 조사하고자 하였다. 건조기 내 온도와 습도를 측정하기 위해 Figure 5에 나타낸 온·습도 데이터로거(DS1923-F5#, 아이온도)를 사용하였으며, 데이터로거의 측정 가능 온도 범위는  $-20\sim 85^{\circ}\text{C}$ , 습도 범위는  $0\sim 100\%\text{RH}$  이었다. 데이터로거의 데이터 설정 및 다운로드를 위하여 개인 컴퓨터에 Thermodata Viewer 소프트웨어(SW-TDVE, 아이온도)를 설치 후 데이터로거 전용 리더기(DS9490R#, 아이온도)를 이용하여 Thermodata Viewer 프로그램에 접속한 뒤 데이터 저장 간격을 2분으로 설정해주었다.

이후 온·습도 측정은 실험을 시작하기 전 Mesh 소재의 망에 데이터로거를 넣어 Heater 와 Heatpump(t)의 경우 문 앞에 절연 테이프를 이용해 부착하였고, Heatpump(h)은 선반에 놓은 채 온·습도 환경을 기록하였다. 기록이 끝난 뒤에는 다시 Thermodata Viewer 프로그램에 접속하여 건조 시작 시간에서 종료 시간까지의 데이터를 선택하여 엑셀 값으로 변환시킴으로써 건조 과정 내 온도와 습도 값을 얻어내었다. 건조기 내 온도와 습도 값은 3 회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.



Figure 5. Photo of temperature/humidity data logger.

## 4. 건조 효과 및 변형 평가

### 4.1. 길이 및 면적 변화율

시료의 수축 특성을 평가하기 위하여 AATCC Test Method-135 (Dimensional changes of fabrics after home laundering) [20]을 기준으로 실험 목적에 적합한 방법으로 수정 보완하여 길이 변화율과 면적 변화율을 측정하였다.

#### 4.1.1. 길이 변화율

Figure 6 에 나타난 세탁과 건조 후 길이 방향과 너비 방향의 길이를 측정하여 길이 방향, 너비 방향으로의 변화율을 아래 Eq. 1.과 Eq. 2. 를 통해 계산하였다. 건조에 의한 길이 변화율은 건조 후 길이 변화율에서 세탁 후 길이변화율을 뺀 값으로 정의하였다. 최초 세탁 전 시료의 ac 와 bd 의 길이는 각각 30cm 이었다.

$$\text{Length Dimensional change(\%)} = 100 \times (a'c' - ac)/ac \quad \cdots \cdots \text{Eq. 1.}$$

$$\text{Width Dimensional change(\%)} = 100 \times (b'd' - bd)/bd \quad \cdots \cdots \text{Eq. 2.}$$

#### 4.1.2. 면적 변화율

면적 변화율은 사용자가 착용 시 느껴질 수 있는 사이즈 변형을 대변하는 수치라고 판단하여 시료의 변형을 나타내는 척도로 사용하였다. Figure 6 에 나타난 세탁, 건조 후 길이 방향과 너비 방향의 길이를 측정하여 면적 변화율을 아래 Eq. 3. 을 통해 계산하였다. 건조에 의한 길이 및 면적 변화율은 건조 후 길이 변화율에서 세탁 후 길이변화율을 뺀 값으로 정의하였다. 최초 세탁 전 시료의 ac 와 bd 의 길이는 각각 30cm 이었다.

$$\text{Area Dimensional change(\%)} = 100 \times (a'c' \times b'd' - ac \times bd) / (ac \times bd)$$

..... Eq. 3.

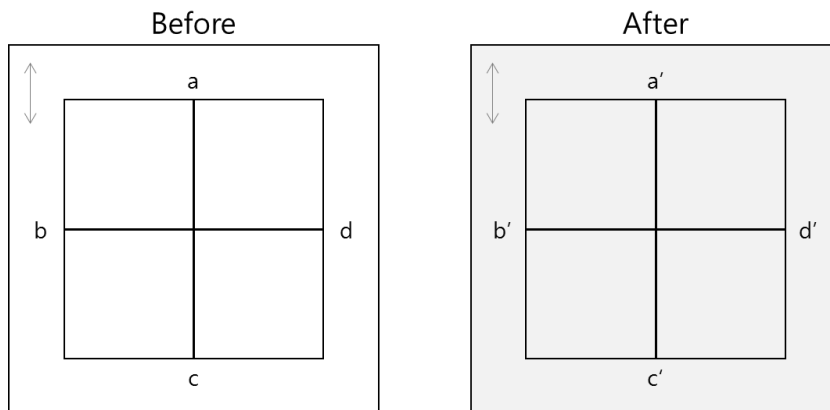


Figure 6. Change measurement before and after washing and drying.



## 4.2. 구김 평가

건조 후 시료를 AATCC Test Method-124 (Smoothness appearance of fabrics after repeated home laundering) [21]에 따라 Figure 7와 같은 AATCC 3D smoothness appearance replica를 이용해 표면의 외관평활성을 3명의 전문가가 관능 평가 하였다. 외관평활성 등급은 Table 3과 같이 SA-5 의 경우 가장 외관이 평활하고 구김이 없는 표면으로 정의되고, SA-1의 경우 가장 외관이 평활하지 못하고 구김이 심한 표면으로 정의되었다. 즉, 등급이 작은 값일수록 구김의 정도가 심함을 의미하였다.

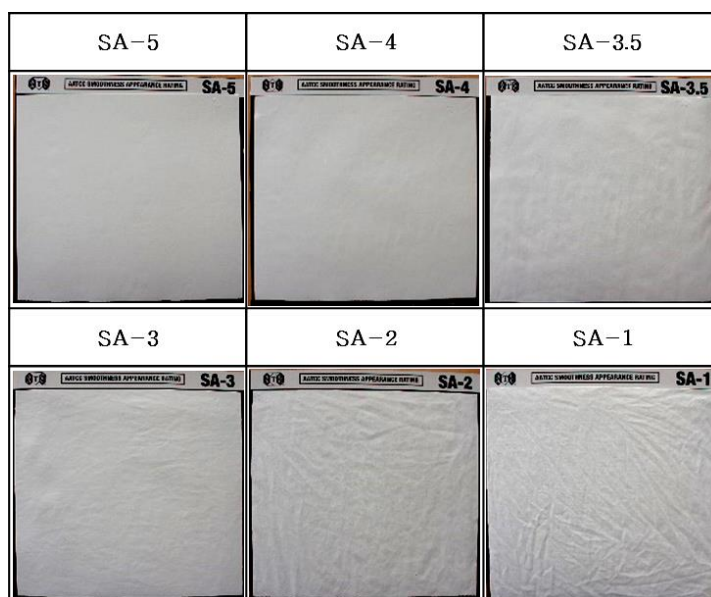


Figure 7. AATCC 3-D smoothness appearance replicas.

Table 3. AATCC 3-D Smoothness Appearance (SA) grade [21]

Grade	Description
SA-5	Equivalent to the SA-5 Replica. Very smooth, pressed, finished appearance.
SA-4	Equivalent to the SA-4 Replica. Smooth, finished appearance.
SA-3.5	Equivalent to the SA-3.5 Replica. Fairly smooth but non-pressed appearance.
SA-3	Equivalent to the SA-3 Replica. Mussed, non-pressed appearance.
SA-2	Equivalent to the SA-2 Replica. Rumpled, obviously wrinkled appearance.
SA-1	Equivalent to the SA-1 Replica. Crumpled, creased and severely wrinkled appearance.

### 4.3. 수분율

본 연구에서는 시료의 건조가 진행됨에 따라 수축이 심화되는 과정을 분석하기 위하여 건조 중 시간 별 건조 효과를 측정하였다. 건조 효과를 나타내는 방식으로 수분율을 측정하였다.

수분율을 측정한 방식은 Chung 등[12]의 연구에서 사용한 방식을 참고하였다. 우선 실험 전 데시케이터에 실리카겔을 넣어 데시케이터 내부가 평형수분함량을 유지하도록 준비하였다. 정해진 시간 동안 건조가 진행되면 건조기 작동을 중지하였다. 이 때, 정해진 건조 시간은 건조 시작 직후인 0 분에서부터 건조 종료 시간까지를 10 분 간격으로 나눈 시간을 의미하였다. 건조기 작동을 중지시킨 뒤에는 건조기에서 즉시 시료를 꺼내어 준비된 지퍼락 용기에 넣고 밀봉하여 데시케이터에 넣고 시료가 상온까지 냉각되었을 때 꺼내어 무게를 측정하였다. 측정한 무게에서 지퍼락 용기의 무게를 뺀 값을 'O' 라고 하였고, 시료를 110℃의 오븐에서 1 시간 30 분동안 건조시킨 후 지퍼락 용기에 넣고 밀봉하여 데시케이터에 넣고 냉각시켜 다시 무게를 측정하였으며 이 무게에서 지퍼락 용기의 무게를 뺀 값을 'D' 라고 하였다. 수분율 측정은 실험 당 시료 2 장의 평균값으로 나타내었다.

위 측정값을 Eq. 4.에 대입하여 수분율을 계산하였다.

$$\text{Moisture Content}(\%) = 100 \times (O - D)/D \quad \dots\dots\dots \text{Eq. 4.}$$

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 건조 조건에 따른 의류소재의 형태 변형

##### 1.1. 건조 조건 별 건조 중 온 · 습도 환경

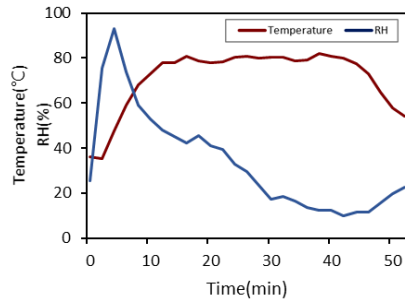
본 연구에서 사용된 Heater, Heatpump(t), Heatpump(h) 조건의 건조 과정 중 온도와 습도 환경을 친수성 세탁물 건조와 소수성 세탁물 건조 시로 나누어 Figure 8 에 나타내었다. 본 연구에서는 친수성 섬유와 소수성 섬유의 흡습과 탈습 속도의 차이가 있음을 고려하여 친수성 세탁물과 소수성 세탁물을 나누어 건조를 진행하였다.[11]

Heater 조건의 최고 온도는 친수성 세탁물과 소수성 세탁물이 각각  $82.4(\pm 0.54)^{\circ}\text{C}$ 와  $86.3(\pm 0.23)^{\circ}\text{C}$ 로 측정되었으며 최고 온도에 도달한 시간은 각각  $29.3(\pm 5.21)$ 분,  $19.3(\pm 1.76)$ 분이었다. Heater 조건의 경우 친수성 세탁물이 최고 온도는 더 낮았으며 최고 온도 도달 시간은 더 길었다. 또한 친수성 세탁물 건조 시 더 긴 건조 시간이 소요되었다. 이는 친수성 세탁물이 세탁 직후 최초 머금은 수분의 양이 소수성 세탁물에 비해 훨씬 많아 탈습 속도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 세 가지 조건 중 가장 빠르게  $80^{\circ}\text{C}$  이상의 온도까지 가열되는 건조기 특성 상 섬유의 탈습 속도와 최초 수분함유량에 따른 건조 시간의 차이가 존재하였을 것이라고 판단된다.

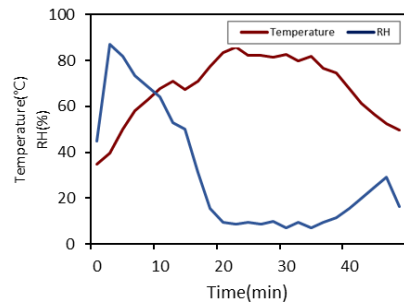
Heatpump(t) 조건은 세탁물 특성에 따라 친수성 세탁물은 최고 온도

64.8( $\pm 1.62$ ) $^{\circ}\text{C}$ , 소수성 세탁물은 64.1( $\pm 1.30$ ) $^{\circ}\text{C}$ 까지 가열되었으며 최고 온도까지 걸린 시간은 각각 66.7( $\pm 1.76$ )분, 64.7( $\pm 1.30$ )분으로 측정되었다. Heatpump(t) 조건의 경우 친수성 세탁물과 소수성 세탁물이 본 연구의 실험 조건 하에서는 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이는 약 64 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도까지 건조가 끝날 때까지 천천히 가열하는 본 건조 방법에서는 건조기 내 비교적 높게 유지되는 습도에 의해 세탁물의 수분함유량과 탈습 속도에 의한 영향이 미미한 것으로 사료된다.

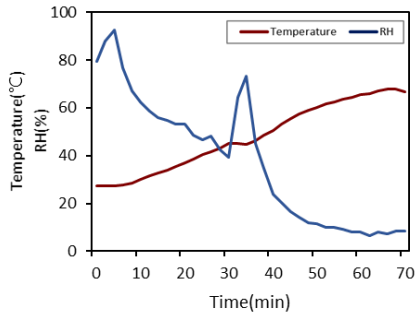
Heatpump(h) 조건은 건조 중 온도 환경의 경우 동일한 가열 방식을 사용하는 Heatpump(t) 조건과 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 좁은 공간과 제한된 행거의 개수를 가진 건조기 특성 상 더미를 제외하고 시료만 건조시켜 건조기 내 습도는 Heatpump(t) 조건에 비하여 빠른 시간 내에 감소하였다. Heatpump(h) 조건의 최고 온도는 친수성 세탁물과 소수성 세탁물이 각각 50.3( $\pm 1.75$ ) $^{\circ}\text{C}$ , 48.3( $\pm 1.75$ ) $^{\circ}\text{C}$  였으며 최고 온도까지 걸린 시간은 48( $\pm 2.00$ )분, 38( $\pm 0.00$ )분으로 측정되었다. 이 조건의 경우에도 친수성 세탁물과 소수성 세탁물 건조 과정에서 최고 온도까지 걸린 시간에 차이가 존재하며, 건조기 내 습도가 빠르게 줄어들면서 탈습 속도가 빠르고 수분함유량이 적은 소수성 세탁물이 친수성 세탁물보다 최고 온도가 낮고 최고 온도까지 도달한 시간이 짧게 나타난 것으로 판단된다.



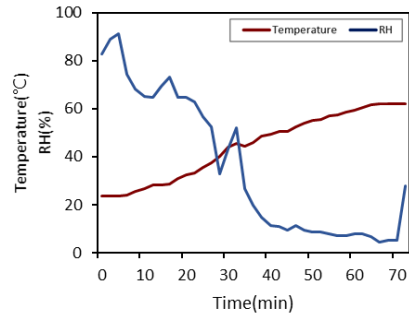
(a) Heater type dryer& Hydrophilic laundry



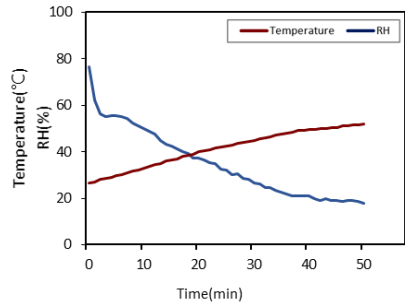
(b) Heater type dryer& Hydrophobic laundry



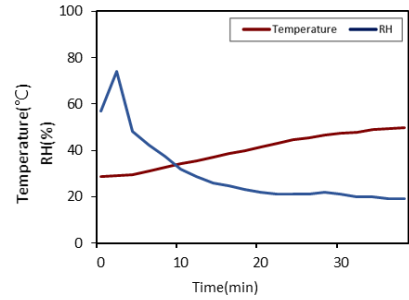
(c) Heatpump(t) type dryer& Hydrophilic laundry



(d) Heatpump(t) type dryer& Hydrophobic laundry



(e) Heatpump(h) type dryer& Hydrophilic laundry



(f) Heatpump(h) type dryer& Hydrophobic laundry

Figure 8. Change in temperature and relative humidity in Heater type dryer, Heatpump(t) type dryer, and Heatpump(h) type dryer.

## 1.2. 구김 특성

구김 특성은 외관평활성 관능 평가를 실시하여 외관평활성이 높은 값을 나타낼수록 구김이 적은 시료로, 외관평활성이 낮은 값을 나타낼수록 구김이 심한 시료로 판단하였다. 시료 10종에 대한 건조 후의 구김 특성 결과는 Figure 9 을 통해 알 수 있다.

건조 후 구김 특성은 건조 조건에 의한 차이보다는 섬유 본래의 성질과 조직의 종류에 따라 변화가 비교적 크게 나타났다. 일반적으로 편물보다 직물 시료에서 구김의 정도가 심하게 나타났다. 이는 편물이 직물보다 실의 자유도가 높아 세탁 과정에서 발생하는 표면의 구김이 건조 과정에서 펴지기 쉽기 때문으로 판단된다.[13] 섬유의 특성 별로 살펴보면 친수성 시료는 Heatpump(t) 조건에서 구김이 상대적으로 심하고 소수성 시료는 Heater 조건에서 구김이 다소 심하게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 섬유 별 구김 메커니즘의 차이로 인한 것으로 사료된다. 친수성 섬유는 외력을 받으면 섬유 내  $-OH$ ,  $-COOH$  와 같은 수소결합들이 끊어지면서 분자가 미끄러져 구김이 발생한다. 소수성 섬유는 유리전이온도( $T_g$ ) 이상의 환경에서 섬유가 굴곡되거나 압축 변형을 받으면서 반영구적으로 섬유 표면에 구김이 발생하게 된다.[11]

건조 조건에 따른 차이를 살펴보면 Heatpump(h) 조건에서 가장 구김이 심하게 발생하였고, Heater, Line Dry, Heatpump(t) 조건의 순서로 구김의 정도가 나타났다. Heatpump(h) 조건의 경우 높지 않은 온도이지만 매우 빠른 시간 동안 건조가 종료되었으며 텀블링 없이 걸어 건조되는 조건으로, 세탁 중 텀블링에 의해 구겨진 시료가 걸린 채로 건조되면서 구김

이 펼쳐질 기회가 부족했을 것으로 생각된다. Line Dry 조건의 경우 25℃ 이하 온도의 환경에서 긴 시간 동안 천천히 건조되므로 Heatpump(h) 조건에서보다 중력에 의해 구김이 펼쳐질 시간이 길어 최종 건조 후 구김의 정도가 적게 발생하였을 것으로 생각된다.

이에 반해 Heater 조건과 Heatpump(t) 조건에서는 건조과정에서 드럼 내 텀블링에 의하여 시료 간 지속적인 마찰이 발생한다. 따라서 세탁 과정 내 발생한 구김이 텀블링을 통해 펼쳐지는 과정이 충분히 이루어졌을 것이라고 사료된다. 다만 Heatpump(t) 조건보다 Heater 조건에서 폴리에스터 직물과 편물 시료의 낮은 외관 평활성을 나타내었다. 합성섬유의 경우 유리전이온도 이상에서 분자의 운동성이 증가하여 비결정 영역 내 들어있는 분자쇄들이 운동을 시작하는 열적 거동을 뚜렷이 나타낸다.[10] Heater 조건의 건조 온도는 폴리에스테르의 유리전이온도인 67–81℃ 이상에 해당하여 분자 구조의 재배열에 의하여 형태가 변형된 후 건조 후 식으면서 열 고정으로 인해 반영구적인 구김이 형성된 것으로 판단된다.[10,22]



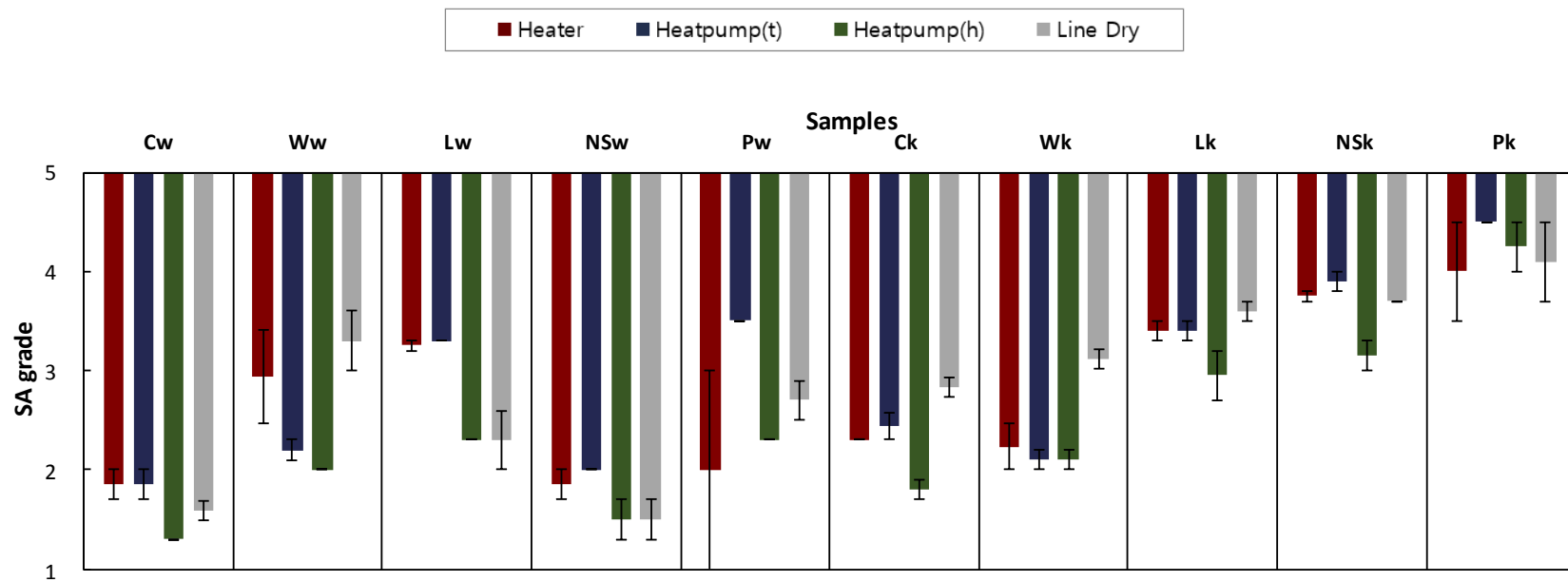


Figure 9. Smoothness appearance grade after initial drying process.

### 1.3. 수축 특성

시료 10종에 대하여 최초 건조 후 길이 및 면적 변화율 측정 결과는 아래와 같다. 모든 결과에서 세로축 형태 변화율의 양의 방향은 시료의 신장을 의미하고 세로축의 음의 방향이 시료의 수축을 의미한다. 최초 세탁과 건조를 마친 후 건조 후 길이변화율은 세탁과 건조 후 길이변화율에서 세탁 후 길이변화율을 뺀 값으로 나타내었다.

#### 1.3.1. 길이방향 변화율

최초 건조 후 시료의 길이방향 변화율은 Figure 10 을 통해 알 수 있다. 전반적으로 건조 후 길이방향 변화율은 건조 조건보다는 섬유 본래의 성질과 조직에 따라 차이가 크게 나타났다. 길이방향으로의 변화율은 면, 양모, 라이오셀, 폴리에스테르 시료에서 직물 조직보다 편물 조직에서 더 크게 수축하였고, 나일론/스판텍스 시료에서는 직물 조직이 편물 조직보다 큰 길이변화율을 나타냈다. 섬유 종류 별로는 나일론/스판텍스 직물, 라이오셀 편물, 양모 편물, 면 편물의 순서대로 크게 나타났다.

건조 조건 별 시료의 수축 특성을 살펴보면, 대부분의 시료에서 Heater 조건에서 길이방향 변화율이 가장 컸으며 Heatpump(t), Line Dry, Heatpump(h) 조건의 순서대로 최초 건조 후 길이방향 변화율이 감소하였다. 이는 높은 열과 기계력이 동시에 가해지는 Heater 조건에서 시료가 열에 의해 수축하고, 직물 간 마찰에 의해 수축되기 쉽기 때문으로 해석된다. 그러나 라이오셀 편물과 같이 일부 친수성 시료에서는

Heatpump(t) 조건에서 가장 많이 수축하였는데, 이는 건조기 내 최고 온도까지 도달하는 시간이 매우 긴 건조기 내에서 수분을 다량 함유한 친수성 섬유가 빠르게 건조되지 못하고 장시간 팽윤되어있는 상태로 있어 시료의 변형이 심화되었을 것이라 여겨진다. Line dry, Heatpump(h) 조건은 길이방향 변화율이 대부분 시료에서 비슷하였다. 두 조건은 기계력이 가해지지 않은 조건이므로 시료의 수축이 더 적게 발생한 것으로 사료된다. 다만 면 편물, 양모 편물, 라이오셀 편물 시료에서 Line dry 조건에서의 수축이 Heatpump(h) 조건보다 크게 나타났는데, 이는 수평방향으로 흔들어주는 동작을 포함하여 빠르게 건조되는 Heatpump(h) 조건에 비해 수분을 다량 함유한 채로 장시간 아무런 외력 없이 건조되어 편물 조직의 실이 원래의 위치로 돌아갈 수 있는 물리적 작용이 부족했을 것으로 사료된다.

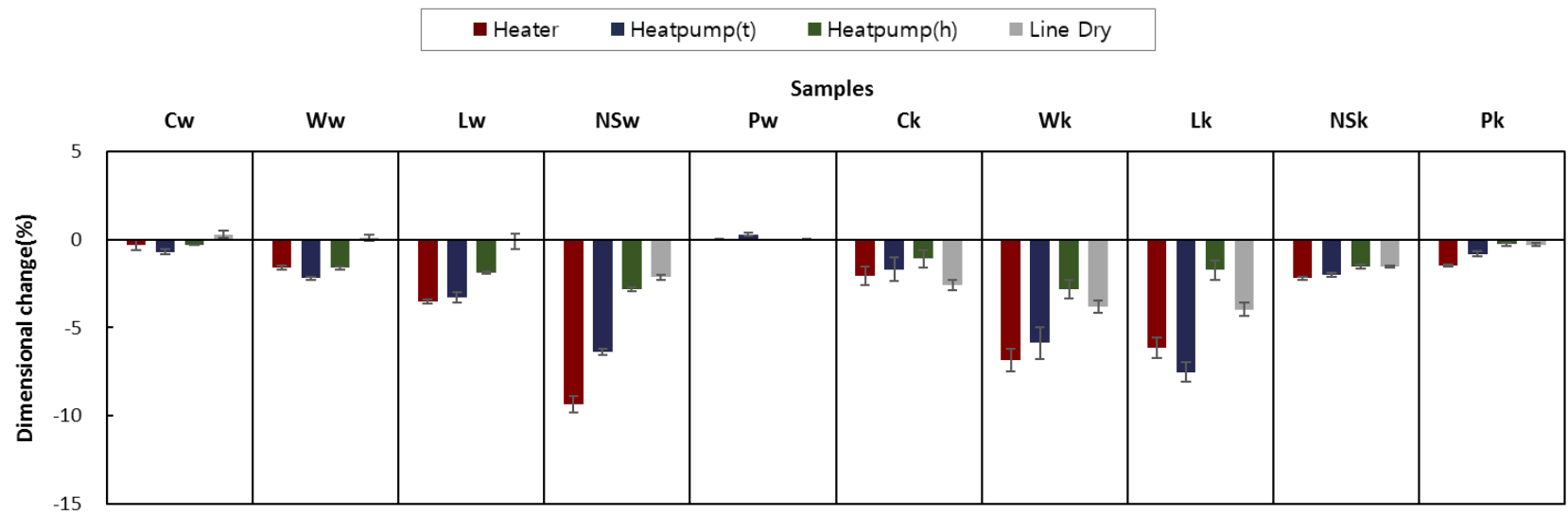


Figure 10. Percentage length dimensional change after initial drying process.

### 1.3.2. 너비방향 변화율

최초 건조 후 시료의 너비방향 변화율은 Figure 11 에 나타내었다. 건조 후 너비방향의 변화율 또한 전반적으로 섬유의 성질과 조직에 따른 차이가 큰 것으로 나타났다. 너비방향으로의 변화율은 면, 양모, 라이오셀, 폴리에스테르 시료에서 직물 조직보다 편물 조직에서 더 크게 수축하였고, 나일론/스판텍스 시료에서는 직물 조직이 편물 조직보다 큰 너비방향 변화율을 나타냈다. 섬유 종류 별로는 면 편물, 라이오셀 편물, 나일론/스판텍스 직물의 순서대로 크게 나타났다. 너비방향 변화율 측정 결과, 길이방향 변화율보다는 대부분의 시료가 작은 값을 나타내었다. 이는 시료를 제작할 때 위사 혹은 코스 방향으로의 장력보다 경사 혹은 웨일 방향으로의 장력이 크게 작용되어 길이방향으로 더 이완성 수축이 일어난 결과로 해석된다.[15,23] 다만, 면 편물의 경우 너비방향으로의 수축이 크게 나타났는데, 이는 인터락이라는 편물 조직의 특수성 때문으로 사료된다.

건조 조건 별 시료의 너비방향 변화율은 길이방향 변화율과 유사한 경향을 나타내었다. 높은 열과 기계력이 가해지는 Heater 조건에서 수축이 심하였고 특히 열가소성 섬유인 나일론/스판텍스 직물과 폴리에스테르 편물에서 이를 두드러지게 확인할 수 있다.

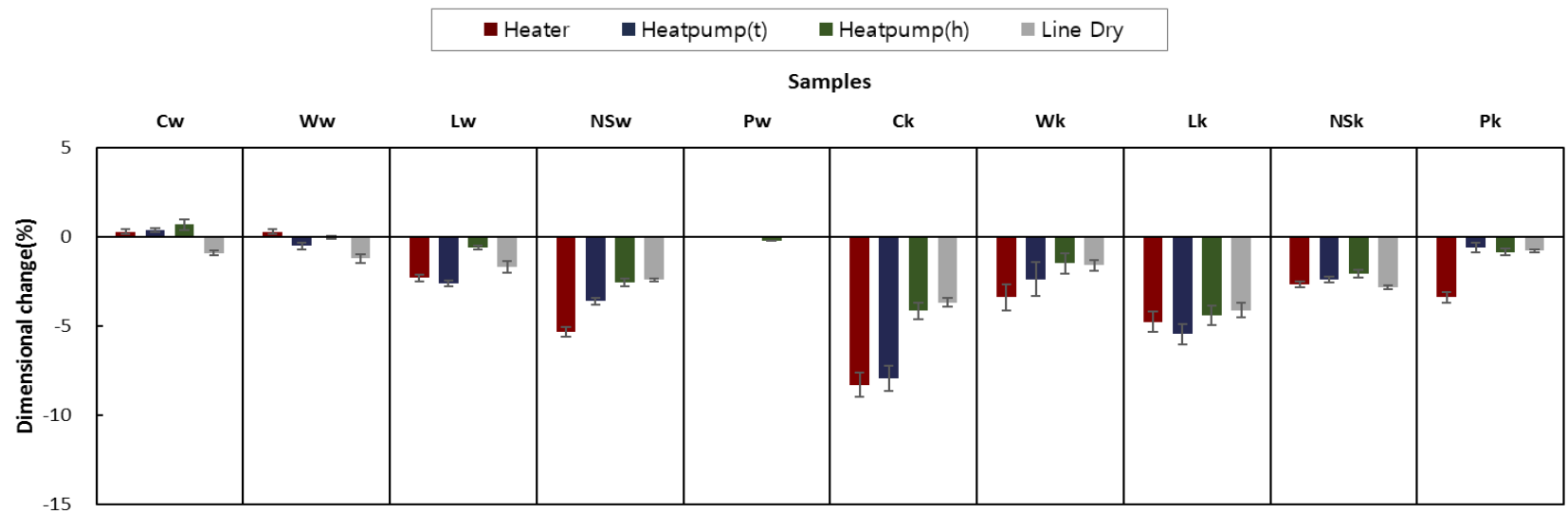


Figure 11. Percentage width dimensional change after initial drying process.

### 1.3.3. 면적 변화율

최초 건조 후 시료의 면적 변화율은 Figure 12 를 통해 알 수 있으며 전반적으로 길이방향 변화율과 너비방향 변화율의 경향을 따르고 있다. 건조 후 면적 변화율은 건조 조건보다는 섬유 본래의 성질과 조직에 따라 차이가 크게 나타났다. 우선 조직 별 차이를 보면, 나일론/스판텍스 직물 시료를 제외한 나머지 섬유에서 직물 조직보다 편물 조직에서의 수축이 심하게 나타났다. 이는 최초 건조 과정에서 실에 가해졌던 장력이 제거되면서 발생하는 이완성 수축이 편성물에서 보다 크게 발생하였기 때문으로 사료된다.[14,15]

섬유의 특성 별로는 건조 온도가 80℃ 이상으로 높게 유지되는 Heater 조건에서 대부분의 시료가 수축이 심하게 발생하였고, 특히 소수성 시료에서 보다 뚜렷하게 관찰되었다. 친수성 시료의 경우 Heater 조건과 Heatpump(t) 조건에서 수축이 크게 나타났는데, 라리오셀 편물의 경우 Heatpump(t) 조건에서의 수축이 더 크게 나타났다.

건조 조건에 따라서는 Heater, Heatpump(t), Line Dry, Heatpump(h)의 순서대로 1회 건조 후 수축이 크게 발생하였다. 앞서 설명한 것과 같이 높은 열을 주며 기계력을 주는 Heater 조건에서 팽윤성 수축과 열수축이 함께 발생하며 기계력이 직물 간 마찰을 야기하여 수축을 가속화하는 역할을 한 것으로 보여진다.[10] Heatpump(t) 조건의 경우 최고 온도가 Heater 조건에 비해 낮고, 최고 온도까지 도달하기까지 걸리는 시간 또한 길어 시료의 열에 의한 수축이 비교적 적게 발생한 것으로 판단된다. 다만 라리오셀 편물의 경우, 라리오셀은 수중에서 너비방향의 팽윤도(%)가 크

고 물에 젖은 상태에서 마찰에 의해 피브릴화(Fibrillation) 현상이 발생하는 특성을 가진다.[10,13] 이러한 특성 때문에 라이오셀 시료가 세탁과 건조 과정에서 흡수한 물과 주변의 높은 습도에 영향을 받아 수축이 더 진행되었을 것이라고 생각된다. Line Dry와 Heatpump(h) 조건에서는 텀블링 없이 길이방향으로 고정시켜 건조시키는 방식의 건조로 기계력에 의한 시료의 수축이 진행되지 않아 나머지 두 조건보다 면적 변화율이 작게 나타난 것으로 판단된다.



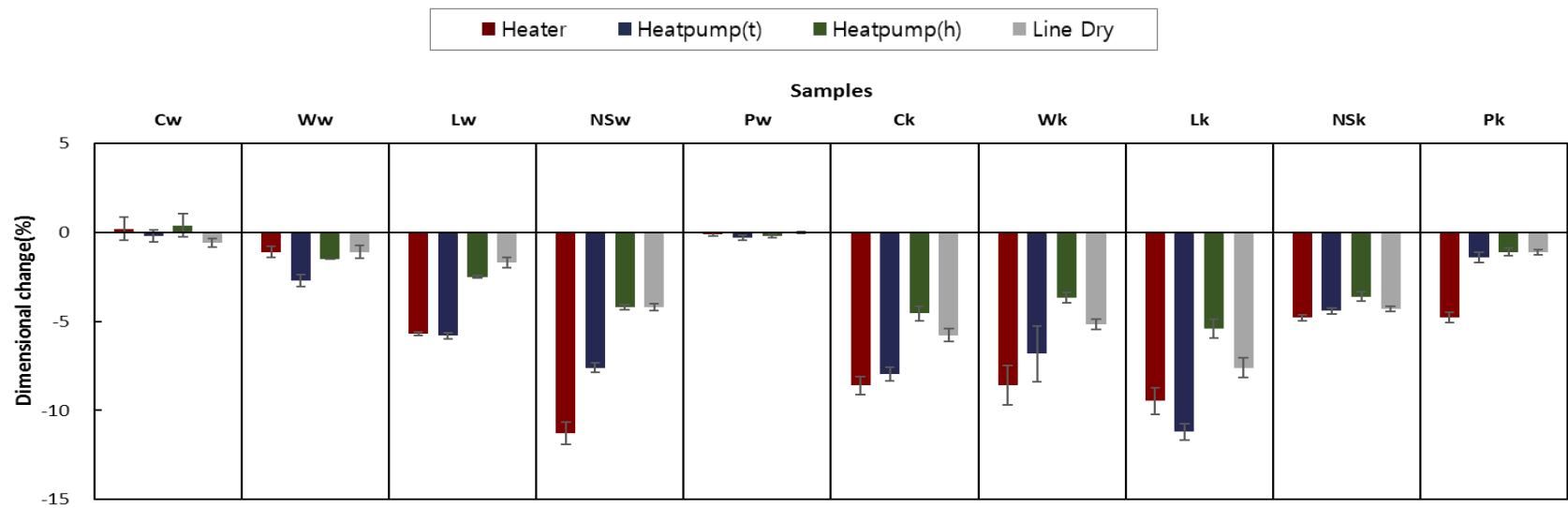


Figure 12. Percentage area dimensional change after initial drying process.

#### 1.3.4. 길이방향 변화율과 너비방향의 변화율의 차

본 연구에서는 건조 전 정사각형의 시료가 최초 건조 후 얼마나 이방성의 형태로 변형되었는지 알아보려고 하였다. 양방향 변화율의 차이가 의미하는 것은 의류제품의 실질적인 디자인 혹은 스타일 형태의 변화라고 여겨진다. 이는 단순히 양방향의 변화율이 유사하게 감소하여 사이즈가 감소된 수축과는 다른 개념의 수축의 형태라고 판단되며, 절대적인 값이 작더라도 양방향 변화율의 차이는 사용자에게 의복이 변형되었다고 생각될 수 있어 실제 의류 관리의 실패를 야기할 수 있는 요소라고 판단하였다.

따라서 길이방향 변화율에서 너비방향 변화율을 뺀 값을 Figure 13 에 나타내었다. 건조 조건 별 건조 후 길이, 너비 변화율의 차이를 본 결과 10종 시료 중 일부 시료에서(Cw, Ww, Lw, NSw, Lk, NSk)에서 Line dry, Heatpump(h) 조건에서 Heater와 Heatpump(t) 조건과 상반되는 경향성 나타남을 확인하였다. 위 결과는 텀블링 없이 수직방향으로 걸어 건조시키는 건조 방법들의 경우 너비 방향으로의 수축이 상대적으로 컸음을 의미한다. 이는 시료의 건조 동안 길이 방향으로 중력이 작용하여 경사 또는 웨일 방향 실의 수축은 중력에 의해 지연되고, 위사 또는 코스 방향의 실로 팽윤성 수축이 상대적으로 더 진행되었기 때문으로 사료된다.

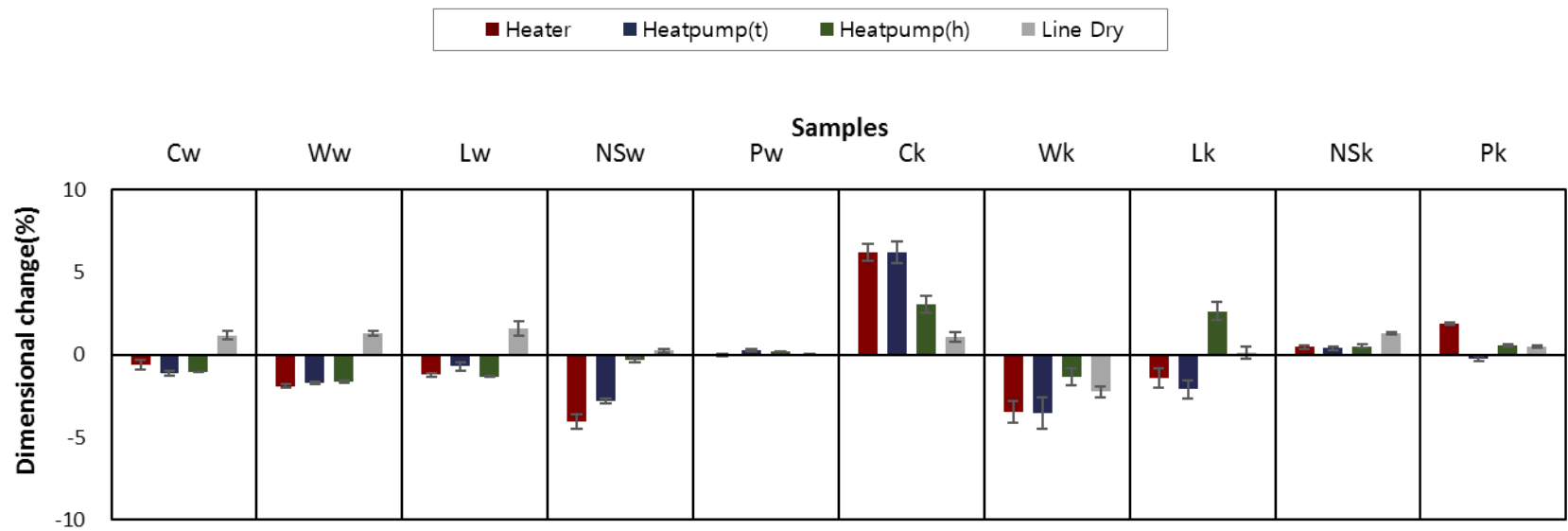


Figure 13. Gap Percentage between length and width dimensional change after initial drying process.

## 2. 건조 조건이 의류소재 변형에 미치는 영향

앞선 의류소재의 건조 후 변형 결과를 통해 의류소재는 건조 과정에서 가해지는 열, 수분, 기계력 등에 의하여 변형이 발생하며, 조직이나 섬유의 종류 별로 이러한 요인들로 인해 변형이 가속화될 수도 있고 반대로 이를 방지할 수도 있음을 확인하였다. 이에 건조 과정 중 열, 수분, 기계력의 영향력을 파악하여 섬유 별 변형에 지배적인 원인을 분석하고자 하였다. 또한 반복적인 의류관리 행정에 의하여 시료의 변형의 정도가 변화할 것이라고 판단하여 5 회까지의 반복 세탁과 건조 후 변형을 측정하여 반복 건조에 의한 영향력을 규명하고자 하였다.

분석을 위해 본 연구에서는 앞서 측정한 의류소재의 건조 후 변형 결과를 기준으로 대표 시료를 선정하였다. 구체적으로는 건조 후 의류소재의 변형 중 수축 특성을 기준으로 친수성 시료 3 종, 소수성 시료 3종을 선정하였다. 건조 후 평균 면적변화율이 큰 순서대로 친수성 소재 대표 시료로 면 편물(Ck), 양모 편물(Wk), 라이오셀 편물(Lk)을 선정하였고, 소수성 소재는 나일론/스판텍스 직물(NSw), 나일론/스판텍스 편물(NSk), 폴리에스터 편물(Pk)을 대표 시료로 선정하여 이후 실험과 분석을 진행하였다.

## 2.1. 온 · 습도의 영향

### 2.1.1. 온도

Table 4 와 Figure 14 은 세 건조 조건에 대하여 건조 중 평균 온도 대비 외관평활성 등급과 면적 변화율을 나타낸 결과이다. 건조 중 평균 온도는 친수성, 소수성 시료 건조 시 모두  $\text{Heater} > \text{Heatpump}(t) > \text{Heatpump}(h)$ 의 순서로 크게 측정되었다.

친수성 시료 조건의 경우, 건조기 내 평균 온도와 시료의 변형 간 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않았다. 그러나 소수성 시료 조건에서는 건조 후 면적 변화율이 건조 중 평균 온도에 의존적인 경향을 나타내었다. 이는 소수성 시료의 치수 변형이 건조 중 온도, 즉 건조 중 가해지는 열에 영향을 받는 것으로 해석할 수 있다. 모든 섬유는 열을 받게 되면 분자 운동이 활발해지게 되고, 특히 합성섬유의 경우 열을 받으면 유리전이온도 부근에서 동결되어 있던 분자의 운동이 급격하게 증가하면서 섬유의 성질을 크게 변화시키게 된다. 이 때 분자 구조의 재배열이 일어나면서 형태나 치수가 변형되기 쉬워진다.[10] 따라서 소수성 소재가 높은 온도의 조건에서 건조되면서 열수축이 일어났을 것으로 사료되며 열에 의존적인 경향을 나타냄을 확인하였다.

Table 4. Average temperature of Heater, Heatpump(t), and  
Heatpump(h) conditions

Average temperature(°C)	Heater	Heatpump(t)	Heatpump(h)
Hydrophilic samples	71.3	46.9	43.3
Hydrophobic samples	68.3	52.5	42.1

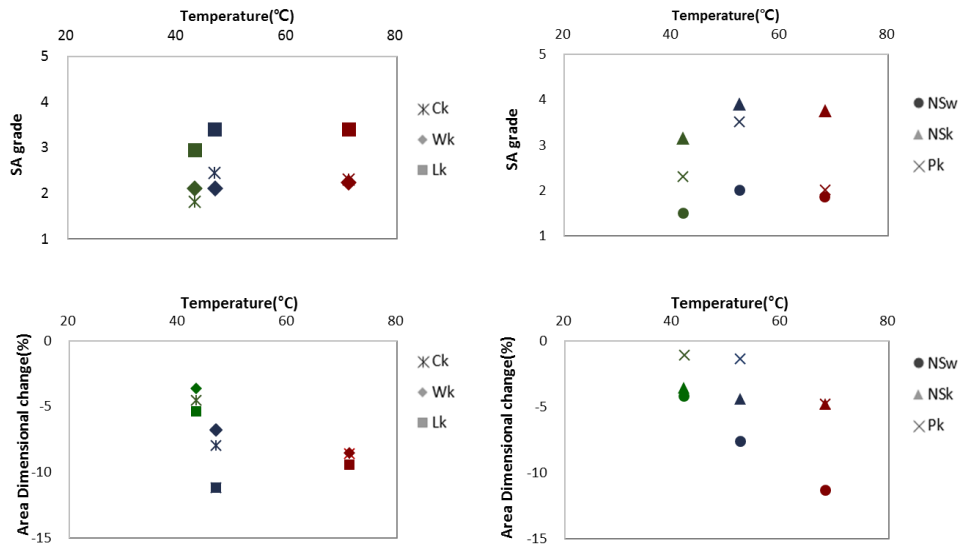


Figure 14. Smoothness appearance grade and Area dimensional  
change of samples according to average temperature.

### 2.1.2. 습도

Table 5 와 Figure 15 은 건조기 내에서 건조가 진행되는 세 조건에 대하여 건조 중 평균 습도 대비 외관평활성 등급과 면적 변화율을 나타낸 결과이다. 건조 중 평균 습도는 친수성, 소수성 시료 건조 시 모두  $\text{Heatpump}(t) > \text{Heater} > \text{Heatpump}(h)$ 의 순서로 크게 측정되었다. 이때  $\text{Heatpump}(h)$  조건의 경우 중온에서 건조가 이루어지지만 걸여 말리는 건조기 특성 상 부득이하게 세탁부하직물 없이 건조가 이루어져 가장 낮은 평균 습도가 측정되었다.

친수성 시료 조건의 경우, 건조 중 평균 습도가 높아짐에 따라 외관평활성 등급이 높아지는, 즉 구김이 적어지는 경향을 나타내었다. 친수성 섬유는 섬유 내  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$  와 같이 물과 수소결합을 할 수 있는 기능기가 다량 존재한다. 이러한 친수기들은 세탁 시 물과 만나 수소결합을 이루고 세탁, 탈수 과정을 거치면서 외력에 의해 분자쇄가 미끄러진 채로 새로운 위치에 수소결합을 다시 형성하면서 표면에 구김이 생기게 된다.[14] 평균 습도가 낮고 기계적 교반 없이 빠르게 건조되는  $\text{Heatpump}(h)$  조건에서는 세탁에 의해 물과의 수소결합에 의해 형성된 구김이 물이 빠르게 증발되면서 펼쳐질 수 있는 기회 없이 그대로 고정된 것으로 판단된다. 또한 Heater 조건보다 평균 상대습도가 높은  $\text{Heatpump}(t)$  조건에서 장시간 수분이 충분한 상태로 기계력이 가해져 미끄러진 채로 형성된 수소결합을 끊어 구김을 펼쳐줄 기회가 많았던 것으로 판단된다.

반면 소수성 시료 조건의 경우 건조 중 평균 습도와는 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않았다. 소수성 시료들은 분자 내 친수기가 적거나 거의 존재하지 않아 세탁 직후 수분 함유량이 매우 적다. 이러한 분자 구조 때문에 건조 과정 내 공급되는 수분이 소수성 섬유의 형태 및 치수 변형에는 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다.



Table 5. Average RH of Heater, Heatpump (t), and Heatpump (h) conditions

Average RH(%)	Heater	Heatpump (t)	Heatpump (h)
Hydrophilic samples	35.1	39.4	26.0
Hydrophobic samples	35.2	43.3	32.5

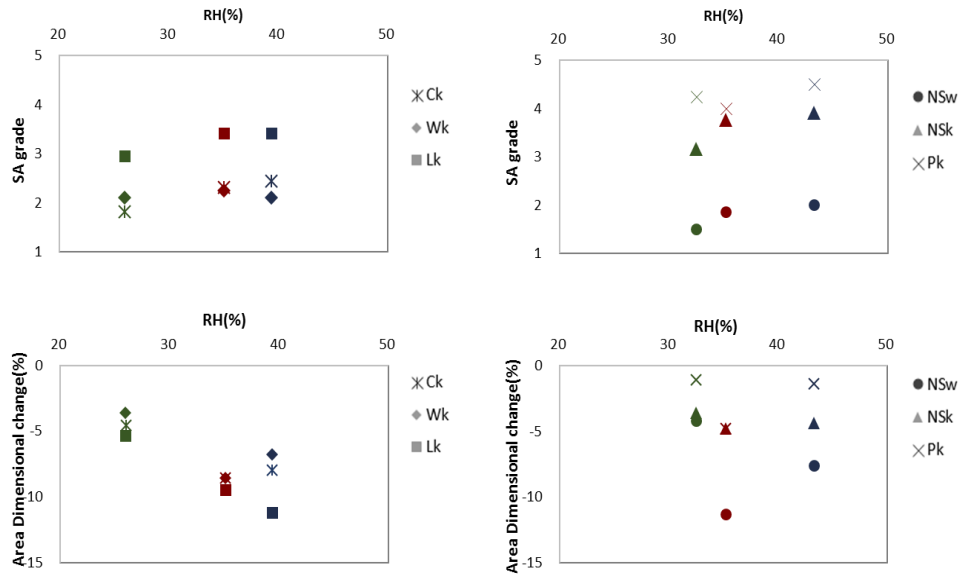


Figure 15. Smoothness appearance grade and Area dimensional change of samples according to average RH.

## 2.2. 기계력의 영향

세탁과 건조 과정에서 기계적 교반은 시료 표면의 구김이 제거될 수 있는 기회를 부여하지만, 동시에 섬유의 치수 변형을 가속화하는 요인으로 의류소재의 형태 및 치수 변형에 영향을 미친다. 따라서 의류건조기 사용시 섬유의 특성에 따라 변형을 최소화할 수 있는 건조 방법을 선택하여 의류를 관리하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 시료의 건조 과정에서의 수축을 기계력에 의한 수축과 열에 의한 수축으로 분리하여 각 섬유에 대해 미치는 상이한 영향력을 분석하였다.

본 연구에서는 건조에 의한 시료의 수축에 영향을 미치는 인자가 기계력과 열 두 가지라고 생각하여, 두 인자 간 상호작용에 대한 영향은 없다고 가정하였다. Figure 16 은 6 종 시료의 기계력이 가해지는 세 가지 건조 조건에 대한 건조 후 길이변화율을 기계력과 열로 나눈 결과이다. 이때, 기계력에 의한 수축은 의류건조기 코스 중 냉풍 건조 코스를 이용하여 열을 가하지 않은 채 일반 건조와 동일 시간 기계력을 주어 건조한 뒤 완전 건조될 때까지 자연건조 시킨 뒤 측정한 길이변화율을 의미한다. 열에 의한 수축은 일반 건조 후 길이변화율에서 냉풍 건조 후 길이변화율을 빼 준 값으로 나타내었다.

Figure 16 을 통해 섬유의 특성과 건조 조건에 따라 기계력이 시료에 미치는 영향이 상이함을 알 수 있었다. 친수성 시료의 경우 전반적으로 각 건조 조건에서 수축에 기계력이 미치는 영향이 열보다는 작은 경향을 보였다. 그러나 양모 편물의 경우 Heater 와 Heatpump(t) 조건에서

시료의 수축에 기계력이 미치는 영향력이 열이 미치는 영향력보다 크게 나타났다. 양모는 표면에 스케일 층이라고 불리는 표피층이 존재하며, 스케일 층은 생선 비늘과 같은 외관을 가진다.[13] 스케일은 섬유 간 마찰이 발생하였을 때 모든 방향으로만 전진할 수 밖에 없어 마찰이 지속되면 섬유가 엉키고 밀착되는 축융이 일어난다.[10,13,22] 이러한 양모의 축융성 때문에 건조 과정에서 기계적 교반이 존재하는 건조 조건에서는 섬유 간 마찰에 의하여 축융되어 수축이 심화된 것으로 사료된다. 섬유 간 마찰이 일어나지 않는 Heatpump(h) 조건에서 기계력에 의한 수축이 급격히 감소한 본 연구의 결과는 위 설명을 뒷받침하고 있다.

소수성 시료는 친수성 시료에 비해 모든 건조 조건에서 기계력이 미치는 영향력이 두드러지게 감소하였다. 또한 건조 온도가 가장 높은 Heater 조건에서 열에 의한 길이변화율이 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 소수성 소재는 건조 과정에서 기계력보다 건조 시 가해지는 열을 조절하여야 소재의 변형을 최소화할 수 있음을 알 수 있다.

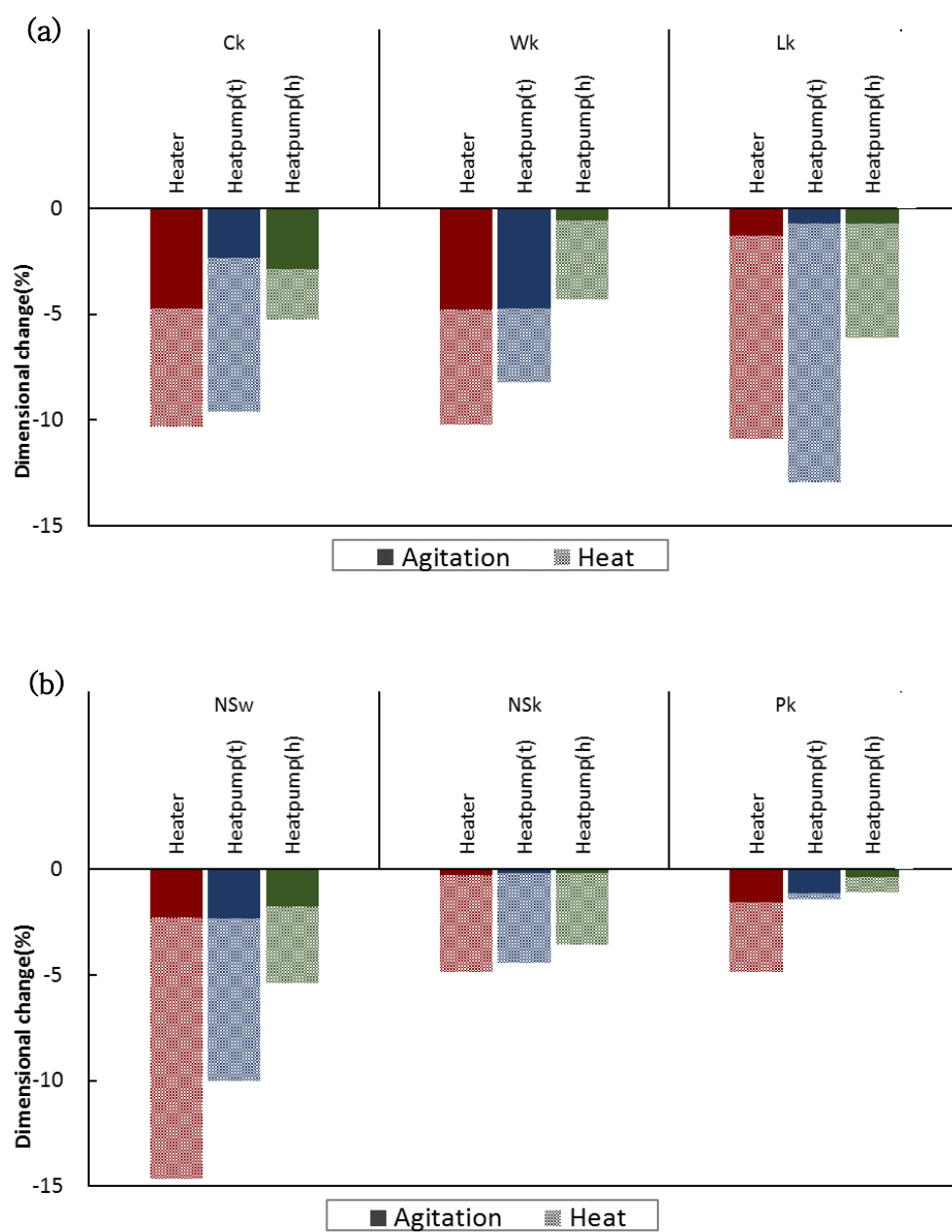


Figure 16. Separation of Heat and Agitation by Drying Conditions of  
 (a) Hydrophilic samples and (b) Hydrophobic samples.

## 2.3 반복 건조의 영향

의류건조기의 반복 건조에 따른 의류소재의 변형은 주로 1~5 회에서 변화를 보인다는 선행연구[1, 2]에 근거하여 5 회까지의 세탁과 건조 후 시료의 외관평활성 등급과 면적변화율을 측정하여 반복 건조의 영향을 규명하고 건조 조건 별 비교를 통해 섬유 별 알맞은 건조 조건에 대한 고찰을 진행하고자 하였다.

### 2.3.1. 구김 특성

5 회까지의 세탁과 건조 후 시료의 외관평활성 등급을 반복 측정한 결과를 Figure 17 에 나타내었다. 반복 건조에 의한 구김 특성의 변화는 섬유의 특성 별 차이가 뚜렷하게 나타났다. 친수성 시료인 면, 양모, 라리오셀 편물의 경우 세탁/건조 횟수를 반복할수록 네 건조 조건에서 모두 외관평활성 등급이 낮아지는 경향을 나타내었다. 특히, 양모 편물의 경우, 모든 건조 조건에서 횟수를 거듭할수록 구김이 심화되고 있음을 알 수 있다. 이는 세탁에 의해 양모 섬유가 물에 젖었을 때 섬유 내 함유된 다량의 수소결합이 절단되었다가 건조되면서 다시 결합을 형성하는 과정에 의해 주름과 구김이 형성되기 때문이다.[10] 또한 건조 과정에서의 열과 기계력이 양모의 스케일층에 영향을 미치는 것뿐만 아니라 세탁 과정에서의 마찰이 양모 섬유를 엉키어 뭉치도록 만들기 때문으로 판단된다.[10,13,22] 소수성 시료들은 세탁과 건조 횟수가 증가하여도 구김의 정도가 최초 세탁/건조 후와 비슷하게 유지되어 반복

건조에 의한 영향은 미미하다고 판단되었다. 이로써 반복 건조가 시료의 구김 특성에 미치는 영향력이 섬유 별로 상이함을 알 수 있었고, 건조 조건에 따른 차이는 최초 건조 후 시료의 구김 결과와 유사하게 나타났다. 전반적으로 건조 조건 중 Heatpump(h) 와 Line Dry 조건에서 구김이 심하게 형성되었고, Heater 와 Heatpump(t) 조건에서 표면의 구김이 적게 나타났다.

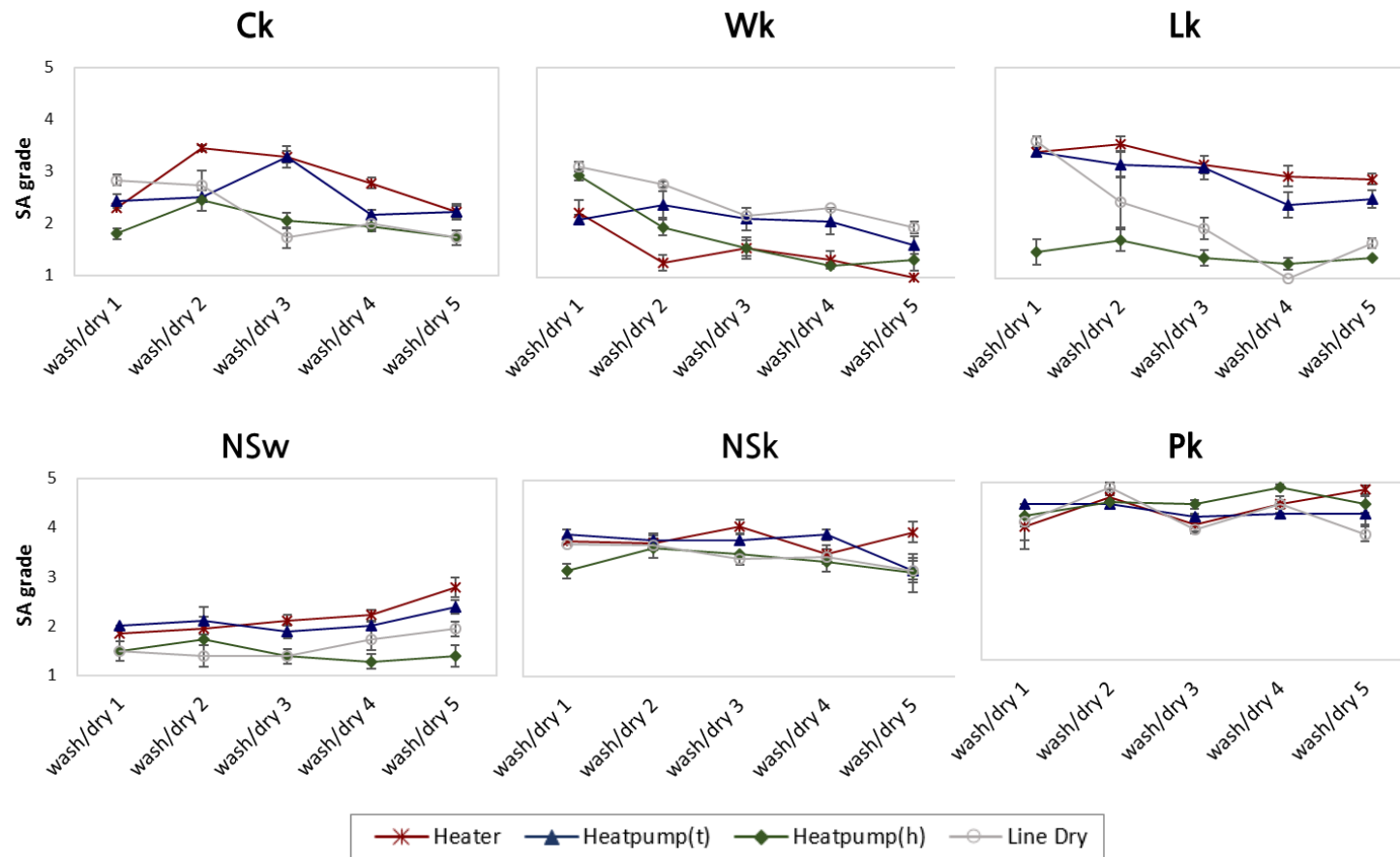


Figure 17. Change in Smoothness appearance grade by Repeated Drying.

### 2.3.2. 수축 특성

Figure 18 은 5 회까지의 세탁과 건조 후 시료의 면적 변화율을 측정한 결과이다. 반복 건조에 의한 수축 특성의 변화는 섬유의 특성 별, 건조 조건 별 차이가 존재하였다.

섬유의 특성 별로는 섬유 내 친수기와 비결정영역을 함유한 라이오셀 편물 시료의 경우 5 회 건조 이후에도 Heatpump(t) 조건에서 더 크게 수축하고 있음을 알 수 있다. 양모 편물 시료는 세탁과 건조 횟수가 증가함에 따라 면적 변화율이 꾸준히 감소하였고, Heater, Heatpump(t), Heatpump(h), Line Dry 조건의 순서대로 수축이 심하게 발생하였다. 양모를 제외한 모든 시료가 반복 건조하였을 때 1 회 세탁과 건조 이후에는 세탁 시 신장하고 건조 시 수축하는 과정을 반복하였다. 섬유는 물을 흡수하였을 때 물 분자가 섬유 내 비결정영역으로 침투하여 부피가 팽창하는 팽윤(Swelling) 이 일어나 직물의 크림프(crimp) 곡률을 감소시키는 것으로 알려져 있다.[10,24] 이 과정 때문에 시료가 세탁 후에는 수분을 함유하게 되어 신장되고, 건조하면서 크림프(crimp) 곡률이 다시 증가하여 시료가 수축하는 것으로 보여진다.[24] 다만 양모는 스케일층을 함유하여 세탁과 건조 과정에서 지속적으로 축융성 수축이 발생하므로 양모 편물의 5 회 세탁과 건조 이후 Heater 조건의 면적 변화율이 -69.1%까지 감소한 것으로 사료된다. 이러한 결과로 보아 양모 섬유가 포함된 의류의 관리 시에는 열을 주거나 섬유의 마찰을 심화시키는 교반 과정 등은 건조 행정만이 아니라 세탁 행정에서도 세심한 주의가 필요함을 확인하였다. 소수성 시료인 나일론/스판덱스



직물과 편물, 폴리에스터 편물의 경우 반복 건조 이후에도 Heater 조건에서의 길이변화율이 가장 크게 유지되었다. 특히 폴리에스터 편물의 경우, 건조 과정을 반복할수록 다른 건조 조건에 비하여 Heater 조건에서 눈에 띄게 수축하였음을 알 수 있다. 이러한 결과는 폴리에스테르, 나일론, 스판덱스와 같은 소수성 소재의 의류를 건조할 때 Heater 의류건조기와 같이 높은 열이 가해지는 건조 조건은 의류의 치수 변형을 초래하며 의류의 수명을 감소시킬 수 있음을 시사한다.

건조 조건 별로는 전반적으로 기계력과 높은 열이 가해지는 Heater 조건, 기계력과 중온의 열이 가해지는 Heatpump(t) 조건, 중온의 열이 가해지는 Heatpump(h) 조건, Line Dry 조건의 순서로 시료의 수축이 적게 발생하였다. 이는 모든 섬유에 대하여 건조 과정에서 지속적으로 가해지는 열 또는 기계력이 의류소재의 치수 변형에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 반복 건조가 시료에 미치는 영향은 존재한다는 결과를 얻었지만, 반복 세탁과 건조에 의한 변형보다는 최초 세탁과 건조에 의한 의류소재의 변형이 가장 심하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 섬유 별로 건조 조건에 따라 시료의 수축 특성이 다르게 나타났으므로 의류를 구입한 뒤 최초 세탁과 건조 시 알맞은 조건으로 건조한다면 불필요한 변형을 줄일 수 있음을 시사한다. 따라서 최초 건조 시 섬유 별 특성을 고려하여 알맞은 건조 조건으로 의류를 건조하여야 할 것이다.

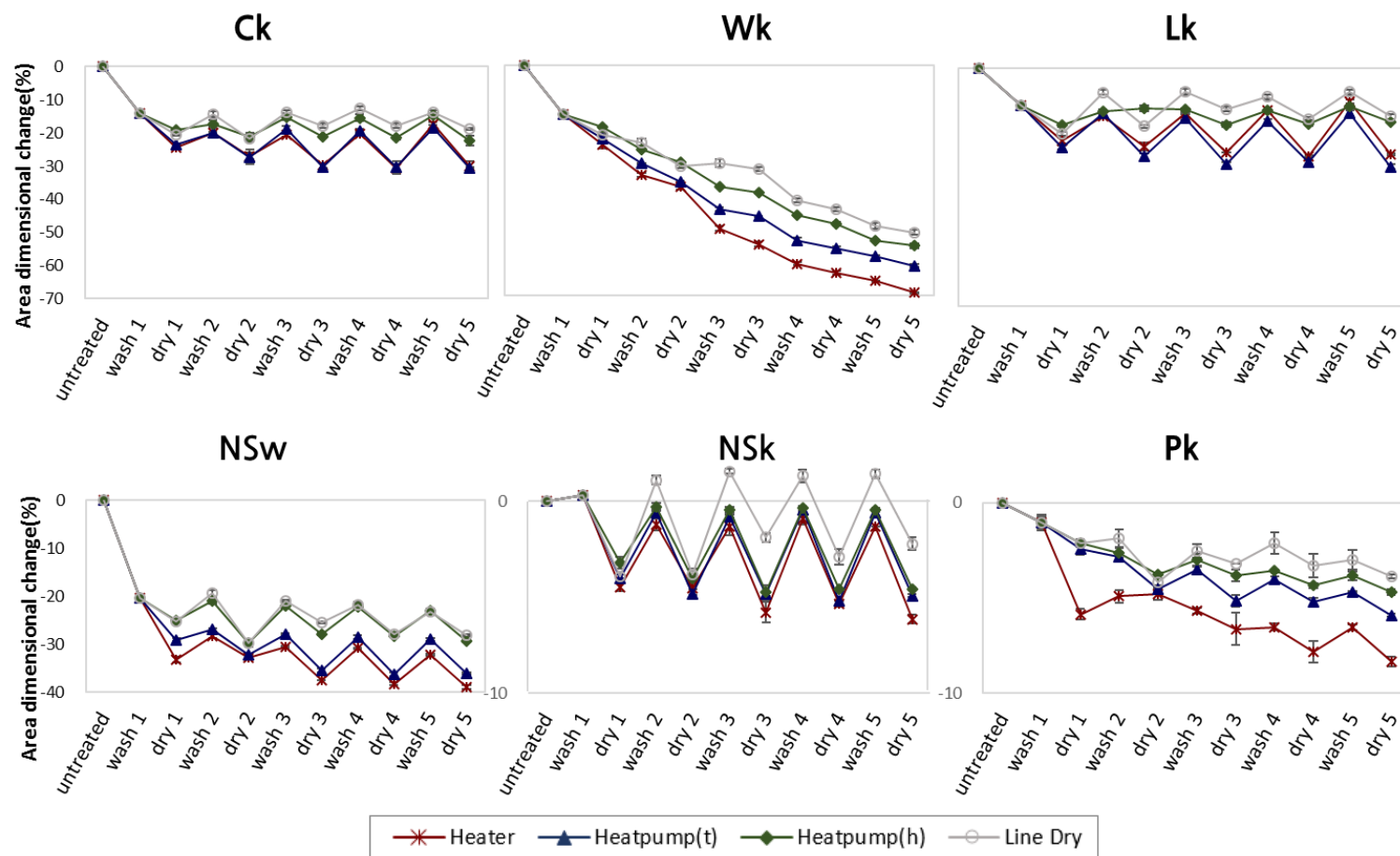


Figure 18. Change in Area dimensional change by Repeated Drying.

### 3. 효율적 건조 조건

본 연구에서는 건조 조건 별 시료의 변형과 변형에 지배적인 영향요인을 분석함으로써 섬유나 조직 별 변형을 줄이기 위해 알맞은 건조 조건을 설정하여야 함을 확인하였다. 그러나 Y.L.Buisson[8]는 건조 중 건조 효과와 소재의 변형을 함께 측정함으로써 건조 과정에서 불필요하게 사용되는 시간과 에너지에 대하여 언급하고 효율적인 건조를 위한 방법을 제시한 바 있다. 실제로 증가하는 전력에너지 소비가 2000년 대비 2006년에 24% 증가하였으며 소비 전력 감축 문제가 이슈가 되어 왔다.[25] 건조기는 에너지 소비가 큰 장치에 해당하므로 본 연구에서는 의류건조기를 사용하는 과정에서 효율적인 건조 방법을 모색하는 것이 필수적이라고 판단하였다.[25,26] 이에 본 연구에서도 건조가 진행되면서 수축이 진행되는 메커니즘을 파악하고 건조 과정에 드는 시간과 에너지를 측정함으로써, 의류소재의 변형을 줄이는 효과적인 건조 뿐 아니라 효율적인 건조 모색을 진행하였다. 본 연구에서는 ‘효율적 건조’를 시료가 조성 섬유의 표준수분율이하로 유지되면서 수축 특성에의 변화가 없고 에너지와 건조 시간이 절약되는 건조로 정의하여 이후 분석을 진행하였다.

이를 위하여 우선 건조 중 시료의 수분율과 면적변화율을 측정하여 각 조건 별 건조 메커니즘을 분석하고 그 결과를 바탕으로 적정 건조 시간을 설정하였다. 그리고 최종적으로는 적정 건조 시간과 최종 건조 종료 시간에서 소비 전력량을 측정하여 시간과 에너지를 줄이는 최적의 건조 조건을 도출하였다.

### 3.1. 수분율 감소에 따른 수축 특성

Figure 19 ~ Figure 24 은 시료의 건조 조건 별 건조 중 수분율 감소에 따른 길이변화를 측정 결과이다. Heater, Heatpump(t), Heatpump(h) 조건 모두 건조기 내 습도에 비례하여 수분율이 감소하고 온도에 비례하여 시료의 치수 변형이 심화되는 경향을 나타내었다. 섬유는 세탁을 진행하면서 표면에  $\alpha$ -water 와  $\beta$ -water 를 갖게 되는데, 건조기를 통한 건조는 섬유와 직접 결합되어 있는  $\alpha$ -water 까지 모두 탈착시켜 수분율을 0%에 가깝게 만드는 것을 목표로 한다. Heater 조건의 경우 건조가 종료되는 시간이 대부분 시료에서 40 분 이내로 짧으며 그래프의 기울기가 가파르게 형성되는 것을 알 수 있다. 이는 건조기 내 온도가 급격히 증가하며 높은 온도에서 기계력을 가하기 때문으로 사료된다. 이에 비해 Heatpump(t) 와 Heatpump(h) 조건은 건조 온도가 느리게 증가되며 최고 온도가 Heater 조건만큼 높지 않아 수축 곡선의 기울기가 비교적 완만하게 형성되었다. Heatpump(t) 조건은 건조가 종료되는 시간이 70 분 내외, Heatpump(h) 조건은 시료의 종류에 따라 30 분~40 분이 소요되었다. 이는 수분 탈착 과정에서  $\alpha$ -water 가 노출되기까지 일정 시간 이상이 필요하기 때문으로 사료된다.

섬유는 위와 같은 건조 메커니즘을 따라 건조가 진행되므로 물과의 친화력에 상관 없이 건조되는 경향성은 유사하게 나타났다. 다만 친수성 시료의 경우, 기계력이 가해지지 않는 Heatpump(h) 조건을 제외하고 Heater 조건과 Heatpump(t) 조건을 비교해 보면 Heater 조건에서는 빠르게 건조가 진행되어 표준수분율 이하 지점에 빠르게 도달하고,

Heatpump(t) 조건의 경우 비교적 느리게 건조가 진행되지만 표준수분율 이하에 도달하는 지점에서의 시료의 변형은 Heater 조건과 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 건조 온도 차이에 따른 수축률 차이가 크지 않다고 밝힌 선행연구들의 주장을 뒷받침하는 결과로 사료된다.[7,19] 소수성 시료의 경우, Heater 조건에서 보다 빠른 시간 내에 가파르게 수분율이 감소하였으며 수축 또한 다른 건조 조건에 비하여 심하게 진행되는 경향을 보였으며 이는 높은 온도에 취약한 소수성 섬유의 특성 때문으로 사료된다.

각 건조 조건과 시료 별로 변형의 정도에는 차이가 존재하였지만, 공통적으로 섬유의 표준수분율 이하에 도달하는 시점이 존재함을 확인하였다. 섬유 별 표준수분율은 면 약 7%, 양모 약 16%, 라이오셀 약 11~12%, 나일론 4% 이내, 스판덱스와 폴리에스테르 1% 이내로 알려져 있다.[13] 각 섬유의 표준수분율을 근거로 하여 건조 과정에서 시료의 표준수분율 이하에 도달하는 시점을 발견하였고 이를 Table 6 에 나타내었다. 표준수분율 이하에 도달하는 시간 이후에는 시간이 경과하여도 수분율과 면적변화율에 변화가 크지 않은 구간이 나타났다. 이 구간에서는 최소 수분율에 도달한 후 건조시간이 경과하면서 오히려 수분율이 상승한 채 건조가 종료되었으며 시료의 수축이 더 심해지는 경우도 존재하였다. 본 연구에서는 이러한 구간을 과잉건조되는 구간으로 판단하여 최적 건조 조건의 모색이 필요하다고 판단하였다.

따라서 건조 조건 별 최적의 건조 조건을 제안하기 위하여 6 종 시료의 표준수분율 이하에서 안정화되는 시간을 Heater 조건 30 분,

Heatpump(t) 조건 50 분, Heatpump(h) 조건 30 분으로 보고 Table 7  
와 같이 세탁부하직물 1kg 에서 최적 건조 조건을 설정하였다.

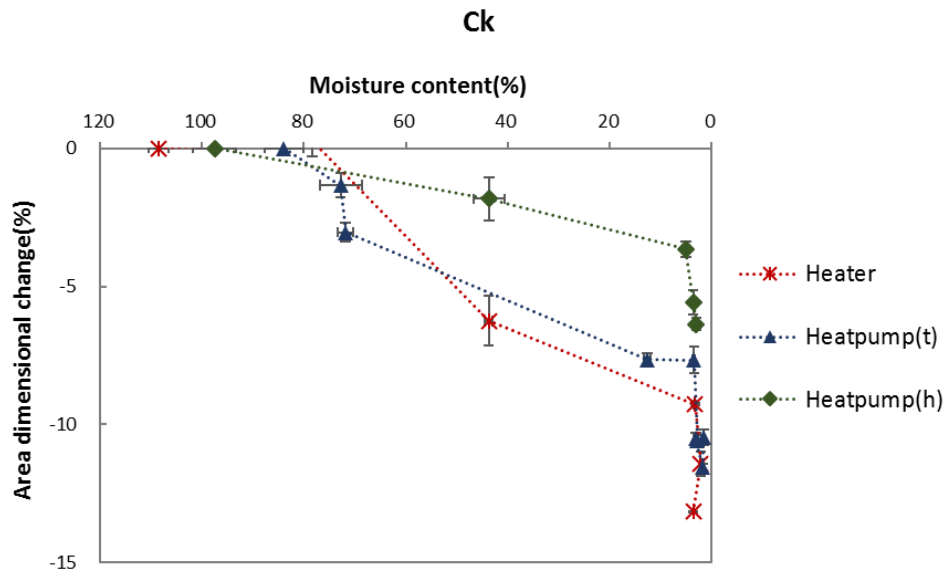


Figure 19. Moisture content vs Area dimensional change of Ck.

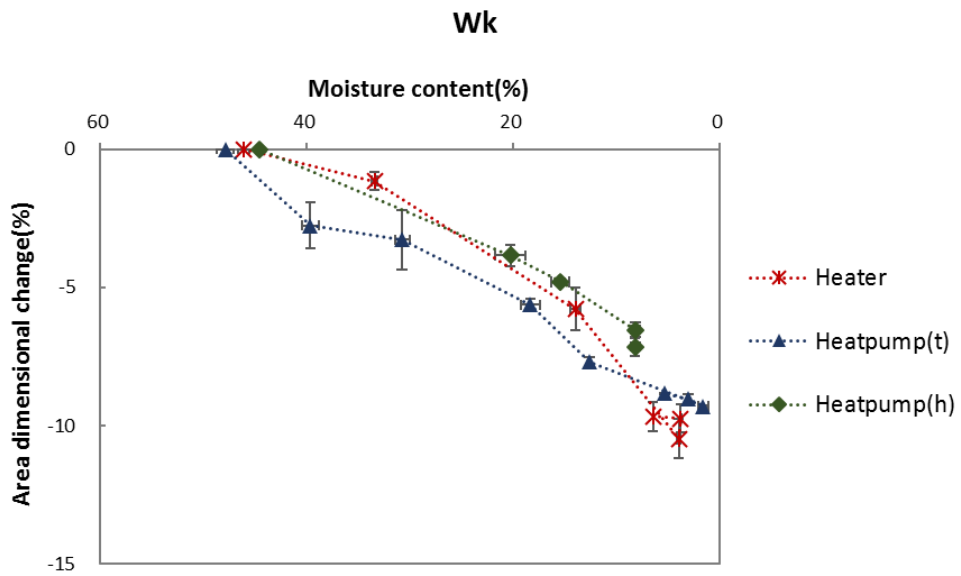


Figure 20. Moisture content vs Area dimensional change of Wk.

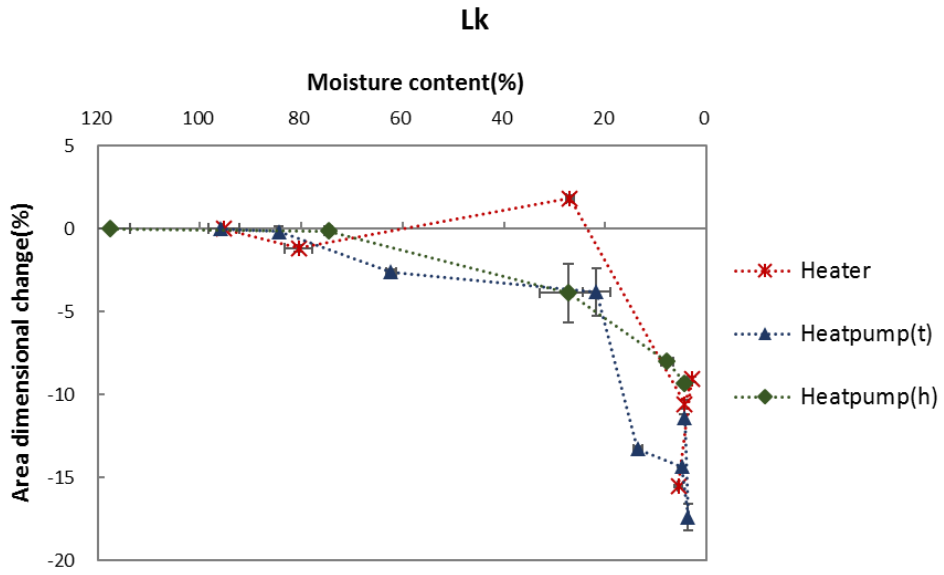


Figure 21. Moisture content vs Area dimensional change of Lk.

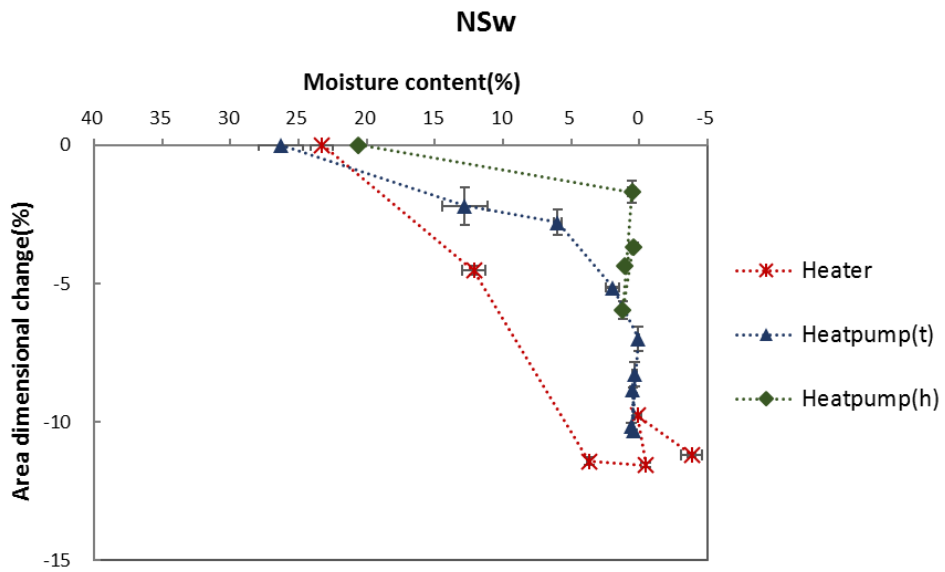


Figure 22. Moisture content vs Area dimensional change of NSw.



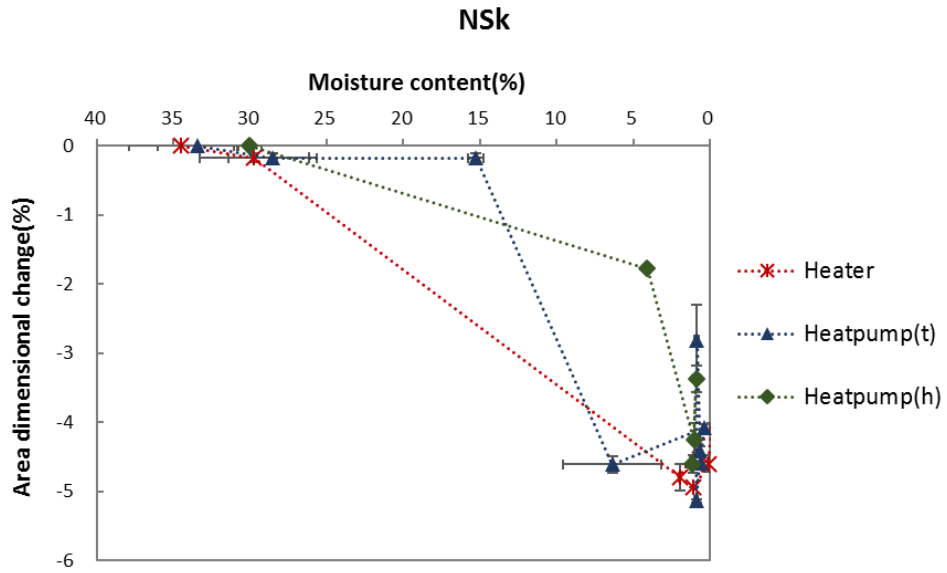


Figure 23. Moisture content vs Area dimensional change of NSk.

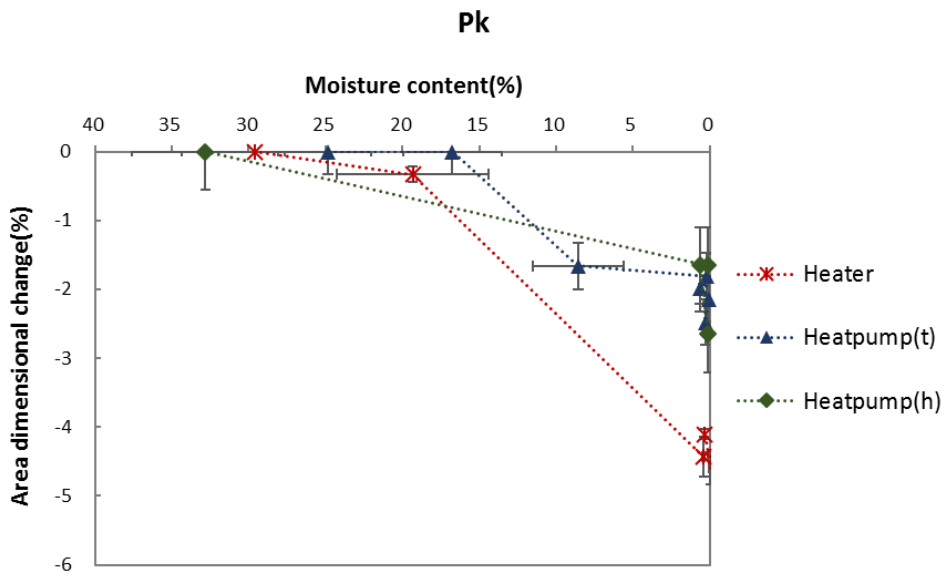


Figure 24. Moisture content vs Area dimensional change of Pk.

Table 6. Optimum drying time and ended time of samples a drying conditions

	Heater		Heatpump(t)		Heatpump(h)	
Time (min)	optimum	end	optimum	end	optimum	end
Ck	30	47	40	77	30	37
Wk	30	48	50	69	30	37
Lk	30	48	50	69	30	37
NSw	30	49	50	72	20	40
NSk	30	50	40	70	20	40
Pk	20	50	30	70	10	30

Table 7. Optimum drying time of Heater, Heatpump(t), and Heatpump(h) dryer while drying dummy load 1kg

	Heater	Heatpump(t)	Heatpump(h)
Optimum time (min)	30	50	30

(Dummy load 1kg)

### 3.2. 효율적 건조 조건의 제안

최종적으로 본 연구에서는 실제 세탁 과정에 준하여 친수성 소재와 소수성 소재를 혼합한 세탁부하직물 1kg에 대하여 앞서 설정한 건조 조건별 적정 건조 시간과 최종 종료시간에서의 건조 효과, 치수 변형, 에너지 사용량을 비교 분석하였다.

Table 8 을 통하여 모든 시료의 수분율이 본 연구에서 설정한 적정 건조 시간 동안 건조한 뒤에도 표준수분율 이하로 유지되었음을 확인하였고, Figure 25 를 통해 적정 건조 시간과 최종 종료시간에서의 시료의 길이변화율에도 변화가 미미하였음을 알 수 있었다. 소비전력량은 Heater 조건의 적정 건조 시에는 858.9Wh, 종료 시에는 1034.6Wh로 최종 건조 대비 에너지 소비가 8.5% 감소하였다. Heatpump(t) 조건의 경우 적정 건조 시 358.1Wh, 종료 시에는 508.1Wh로 최종 건조 대비 소비전력량이 25.5% 감소하였다. Heatpump(h) 조건에서는 적정 건조 시 215.7Wh, 종료 시에는 372.5Wh로 최종 건조 대비 소비전력량이 42.1% 감소하였다.

따라서 본 연구에서는 건조 후 건조 효과와 의류소재의 변형은 유지하면서 에너지와 시간을 절약하는 효율적 건조 조건에 대한 가능성을 발견하였다.

Table 8. Moisture Content of samples at optimum time and ending  
time

	Heater		Heatpump (t)		Heatpump (h)	
MC (%)	optimum	end	optimum	end	optimum	end
<b>Ck</b>	<b>0.28</b>	1.50	<b>0.28</b>	3.61	<b>0.93</b>	1.56
<b>Wk</b>	<b>2.28</b>	0.78	<b>3.11</b>	1.72	<b>0.39</b>	2.33
<b>Lk</b>	<b>4.56</b>	5.33	<b>4.11</b>	4.71	<b>2.11</b>	0.11
<b>NSw</b>	<b>2.83</b>	1.72	<b>1.94</b>	2.28	<b>0.17</b>	0.33
<b>NSk</b>	<b>0.89</b>	1.17	<b>0.67</b>	1.17	<b>0.94</b>	0.12
<b>Pk</b>	<b>0.17</b>	2.33	<b>0.78</b>	0.39	<b>0.39</b>	0.50

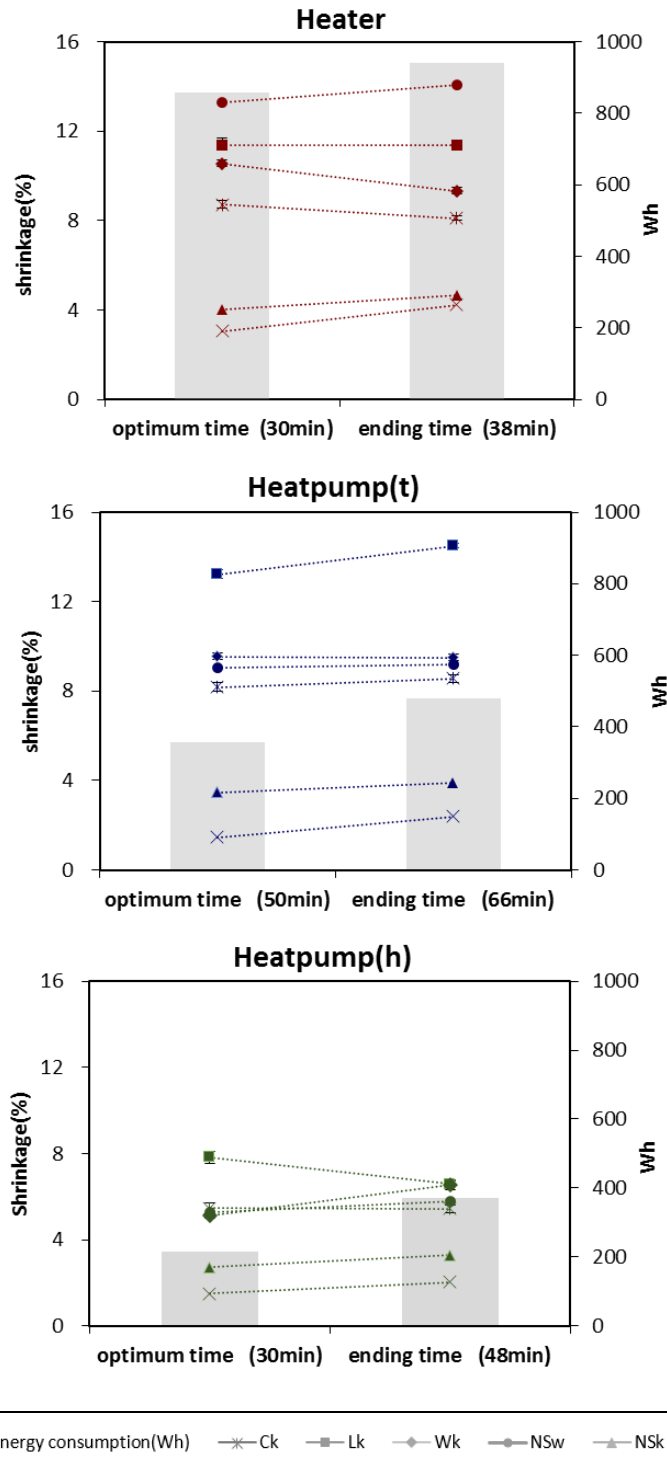


Figure 25. Shrinkage and energy consumption at optimum time and ending time.

## IV. 요약 및 결론

본 연구는 다양한 의류소재에 대해 건조 조건에 따른 형태 변형을 측정하여 섬유 별로 건조 과정에서 변형을 초래하는 영향요인을 분석하고 건조 조건 별 효율적 건조 조건을 제안하고자 하였다. 온·습도 환경과 건조 방식이 다른 네 가지 건조 조건에 대하여 건조 후 구김, 길이 변화율, 면적 변화율 및 건조 효과를 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 섬유의 조직과 특성에 따른 건조 후 구김과 수축 특성을 분석한 결과, 조직의 종류 별로는 실의 자유도가 적은 직물이 편물보다 건조 후 구김은 심하였지만 수축은 더 적었다. 섬유의 특성 별로 친수성 소재의 구김은 건조 중 온도와 습도에 의한 영향은 미미하였다. 소수성 소재는 건조 온도가 높은 건조 조건에서 구김이 심화되는 경향을 나타내었다. 수축 특성의 경우 라리오셀 시료는 건조 중 습도가 높은 건조 조건에서 수축이 심하였고, 나머지 시료는 건조 온도가 높은 조건에서 수축이 심하였다. 이러한 차이는 친수성 섬유의 경우 친수기와 물 분자가 수소결합하면서 구김이 형성되며, 수중 팽윤도가 큰 라리오셀 섬유는 팽윤성 수축이 다른 시료들보다 더 진행했기 때문으로 사료된다. 반면, 소수성 섬유는 유리전이온도가 낮아 열에 의해 분자의 재배열이 일어나 구김과 수축 특성에 영향을 미쳤기 때문으로 사료된다.

2. 건조 조건에 따른 건조 후 구김과 수축 특성을 살펴본 결과, 기계력이 가해지는 Heater, Heatpump(t) 조건에서는 건조 후 구김이 상대적으로 적었지만, 기계력 없이 걸어 건조되는 Heatpump(h), Line Dry 조건에서는 건조 후 구김이 더 심하게 발생하였다. 이는 세탁 과정에서 발생한 구김이 기계력이 있는 건조 조건에서 펼쳐질 수 있는 기회가 존재했기 때문으로 사료된다. 건조 후 수축 특성은 대부분의 시료가 기계력과 높은 열을 동시에 가하는 Heater 조건에서 수축이 가장 심하게 나타났고, 상대습도가 비교적 높게 유지되었던 Heatpump(t) 조건에서는 라리오셀 시료의 수축이 심하게 나타났다. 또한 기계력이 가해지지 않는 Heatpump(h), Line Dry 조건에서는 치수 안정성이 우수하였다. 특히 길이방향으로 고정하여 건조한 두 조건의 경우, 건조 후 길이방향보다 너비방향으로의 수축이 상대적으로 더 크게 나타났으며 이는 중력의 영향으로 사료된다.

3. 기계력이 의류소재의 변형에 미치는 영향을 살펴보면, 기계력은 열보다는 변형에 미치는 영향은 적었지만 의류소재의 구김은 완화시키지만 수축은 심화시키는 경향을 나타내었다. 특히, 양모 시료에서 기계력의 영향이 크게 나타났으며 이는 기계력에 의해 축융 수축하였기 때문으로 사료된다.

4. 반복 건조에 의한 구김 특성의 변화를 분석한 결과, 반복 건조를 진행할수록 친수성 시료의 구김이 심화되는 경향을 나타내었고, 이는 물 분자와 결합하여 구김을 형성하는 메커니즘에 의하여 지속적으로 주름

과 구김이 형성되기 때문으로 사료된다. 그러나 반복 건조에 의한 수축 특성의 경우 양모 편물을 제외한 시료가 대부분 1회 이후 반복 건조 시 오히려 치수 안정성을 갖는 것을 확인하였다. 양모의 경우 스케일층을 함유하여 세탁과 건조에 의해 지속적으로 축융 수축이 발생하기 때문으로 여겨진다. 따라서 의류소재의 관리 시 최초 건조에 의한 형태 변형을 최소화할 수 있도록 소재 별 알맞은 건조 방법을 선택하는 것이 필수적임을 시사한다.

5. 의류소재의 건조 메커니즘과 그에 따른 변형을 측정한 결과, 시료의 건조 후 변형은 건조 과정 중 온도와 습도의 변화와 밀접하게 연관되며, 건조 중 표준수분을 이하에 도달하지만 이후 시간이 경과하여도 수분율과 면적변화율에 변화가 미미한 구간을 발견하였다. 이에 본 연구에서는 이 구간을 과잉건조되는 구간으로 판단하고 건조 조건 별 적정 건조 시간을 세탁부하직물 1kg을 기준으로 Heater 조건 30분, Heatpump(t) 조건 50분, Heatpump(h) 조건 30분으로 설정하였다. 적정 건조 시간과 최종 종료시간을 비교한 결과, 수분율과 길이변화율에는 큰 차이가 없으면서 소비전력량이 Heater, Heatpump(t), Heatpump(h) 조건이 각각 8.5%, 25.5%, 42.1% 감소함을 확인하여 의류소재의 효율적 건조에 대한 가능성을 발견하였다.

본 연구는 다양한 종류의 섬유와 건조 방법에 대하여 소비자가 가시적으로 빠르게 감지하는 구김과 수축 특성을 평가하여 건조 중 온·습도 환경과 기계력의 유무가 다른 건조 조건이 의류소재의 건조 후 변형에 영향



을 미침을 확인하였다. 또한, 세탁부하직물 1kg에서 시료가 표준수분을 이하로 건조되고 변형의 정도가 유지되면서, 소비전력량과 건조 시간이 감소된 건조 조건을 찾아 최적의 건조 방법을 제안하였다. 본 연구는 건조에 의한 형태 및 치수 변형을 최소화하는 효과적인 건조에서 한 단계 더 나아가 건조 시간과 에너지 절약의 개념을 포함한 효율적인 건조 조건을 제안함으로써, 증가하는 의류건조기의 수요에 발맞추어 다양한 의류소재에 대해 현대생활에 적합하고 효율적인 건조기 사용을 위한 기초 자료를 제공하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구는 건조기 특성 상 온도, 습도, 기계력 영향요인을 완벽하게 통제하지 못하고 요인 간 복합적인 작용을 분리하지 못하였다는 한계점이 존재한다. 또한 본 연구에서는 세탁부하직물을 1kg으로 제한하여 실험을 진행하였다. 이에 건조 과정에서 각 영향요인을 제어한 후속 연구와 보다 다양한 세탁부하직물로의 건조 시 의류소재 변형에 대한 후속 연구가 필요함을 제언한다.

## V. 참고 문헌

1. J. H. Seo, S. K. Sung, S. J. Lee and H. S. Kwon, “The Changes in Properties of Dress Shirts by Repeated Washing and Drying (I)” , *Fashion & Textile Research Journal*, 1 (2), 182–187, 1999.
2. S. J. Lee, S. K. Sung, and H. S. Kwon, “The changes in properties of dress shirts by repeated washing and drying (II)” , *Fashion & Textile Research Journal*, 1 (3), 259–263, 1999.
3. H. W. Chung, H. J. Kim, S. Y. Hwang, “Efficient drying conditions for a condensing clothes dryer” , *Journal of Korean Society of Clothing Industry*, Vol.10, No.6, 1058–1063, 2008.
4. 김성련, “세제와 세탁의 과학”(제 3 판), 파주: 교문사, 2013.
5. Higgins, L., Anand, S. C., Hall, M. E., & Holmes, D. A., “Effect of Tumble-drying on Selected Properties of Knitted and Woven Cotton Fabrics: Part I: Experimental Overview and the Relationship between Temperature Setting, Time in the Dryer and Moisture Content” , *Journal of the Textile Institute*, 94(1–2), 119–128, 2003.
6. Mikučionienė, D., & Laureckienė, G., “Influence of drying conditions on dimensional stability of cotton weft knitted fabrics” , *Materials Science*, 15(1), 64–68, 2009.
7. L. Higgins, S.C. Anand, M.E. Hall and D.A. Holmes, “Factors

- during tumble drying that influence dimensional stability and distortion of cotton knitted fabrics” , *International Journal of Clothing Science and Technology*, 15(2), 126–139, 20003.
8. Y.L.Buisson et al, “Qualitative and quantitative evaluation of cotton fabric damage by tumble drying” , *Textile Research Journal*, 70(8), 739–743, 2000.
  9. Anand, S., Brown, K. S. M., Higgins, L. G., Holmes, D. A., Hall, M. E., & Conrad, D., “Effect of laundering on the dimensional stability and distortion of knitted fabrics” , *Autex Research Journal*, 2(2), 2002.
  10. 박병기, 김찬영, “섬유공학의 이해”, 시그마프레스, 2001.
  11. 김상용, 장동호, 최영엽, “섬유물리학”, ITC, 2007.
  12. S. E. Chung, C. H. Park, C. S. Yun, “Electrostatic characteristic of the washer–dryer combination under various drying conditions” , *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 30(5), 753–761, 2006.
  13. 김성련, “피복재료학” (제3개정 증보판), (주)교문사, 2012.
  14. 김정규, 박정희, “패션소재기획” (개정판), (주)교문사, 2011.
  15. ISP 1009, A guide to improved shrinkage performance of cotton fabrics, 2004.
  16. 김성련, 이정숙, 정혜원, 강인숙, 박정희 외, “새의류관리” , (주)교문사, 2008.
  17. R. Postle, “6–Dimensional stability of plain–knitted fabrics” ,

- The Journal of the Textile Institute*, 59(2), 65–77, 1968.
18. L. Quaynor, M. Takahashi, M. Nakajima, "Effect of laundering on the surface properties and dimensional stability of plain knitted fabrics", *Textile Research Journal*, 70(1), 28–35, 2000.
  19. L. Higgins, S.C. Anand, M.E. Hall and D.A. Holmes, "Effect of Tumble-drying on Selected Properties of Knitted and Woven Cotton Fabrics Part II: Effect of Moisture Content, Temperature setting, and Time in dryer on Cotton fabrics", *Journal of the Textile Institute*, 94(1–2), 129–139, 2003.
  20. AATCC Test Method 135–2004, "*Dimensional Changes of Fabrics after Home Laundering*", Volume 85, 2010.
  21. AATCC Test Method 124–2009, "*Smoothness appearance of fabrics after repeated home laundering*", Volume 85, 2010.
  22. 안영무, "*섬유학*", 학문사, 1994.
  23. P. Sawhney, M. Reynolds, C. Allen, R. Slopek, S. Nam, & B. Condon, "Effect of laundering hydroentangled cotton nonwoven fabrics", *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 7(3), 103–110, 2012.
  24. K. Baird, "Relaxation shrinkage of wool fabrics: Its release with regain and time", *Textile Research Journal*, 31(7), 624–629, 1961b.
  25. 김준호, 장석필, 최철진, 황교식, 이호재, "의류건조기의 열적 특성에 관한 실험", *대한기계학회논문집 B권*, 33(8), 629–634, 2009.

26. V. Yadav, C.G. Moon, "Fabric-drying process in domestic dryers",  
*Applied Energy*, 85, 143–158, 2008.

## Abstract

# Influence of Drying Conditions on Dimensional Changes of Fabrics and Suggestion of Optimum Drying Condition

Kirim Kim

Department of Textiles,  
Merchandising and Fashion Design  
The Graduate School  
Seoul National University

The purpose of this study was to investigate the effects of various fabrics on the drying conditions and to propose efficient drying conditions for each drying condition. Cotton, wool, lyocell, nylon / spandex, and polyester were selected as samples and the four drying conditions were different in temperature, humidity and drying method. We had examined the smoothness appearance, the percentage of change of length, width, and area, and the moisture content. Finally, we proposed optimum drying conditions that save time and energy while maintaining final drying effect and dimensional changes by drying condition.

The woven samples wrinkled more than the knitted samples, although it occurred fewer shrinkage. Wrinkling and shrinkage of the hydrophilic samples were not affected by the average temperature during drying. The lower average humidity during drying was, the more wrinkle existed at hydrophilic samples, although average humidity did not influence to the shrinkage. Wrinkling and shrinkage of the hydrophobic samples were not affected by the average humidity during drying. The higher average humidity during drying was, the more hydrophobic samples shrank. As for the influence of agitation, the shrinkage was large at the condition of the Heater and Heatpump(t) in which the agitation was applied, but the wrinkle was partially spread by tumbling. On the other hand, Heatpump(h) and line dry, which has no agitation, showed a tendency to wrinkle more even though the shrinkage was smaller. Especially, the effect of agitation on wool sample was significant, which is probably due to the felting shrinkage of wool.

After repeated drying, it was found that the clothing material generally showed dimensional stability than the initial drying, and it is necessary to select the drying condition that minimizes the dimensional changes during the initial drying. Exceptionally, the wrinkles and shrinkage of wool samples became worse due to repeated washing and drying, which suggests that the attention should be taken when managing wool fabrics.

In this study, it was found that there was little change in the area dimensional change after reaching the standard moisture content during drying under all drying conditions. We judged this section as over-dried section. Therefore, we set the optimum

drying time for each drying condition at 1kg of laundry load as follows; 30 minutes for the Heater condition, 50 minutes for the Heatpump(t) condition, and 30 minutes for the Heatpump(h) condition. Therefore, we have found the efficient drying conditions that save time and energy consumption while maintaining moisture content and dimensional changes of fabrics by comparing the optimum drying time with the final drying time.

**Keywords : Clothes dryer, Drying condition, Dimensional change, Wrinkle, Shrinkage, Efficient drying**

**Student Number : 2015–23096**